SCIENCES ET AVENIR

CHIENS ET CHATS
Le secret de leur longévité
p.48

Accélérateur de particules
L'EXPÉRIENCE ULTIME
p.26

SCIENCES ET AVENIR - N° 951 - MAI 2026 - PHYSIQUE DES PARTICULES
MAI 2026 - N° 951 - BEL 5,70€ - LUX 5,70€ - CH 9,50CHF - D 7,40€ - IT 5,70€ - ESP 5,70€ - GR 5,70€ - PORT-CONT 5,70€ - DOM 5,90€ - NCAL 930XPF - MAR

©STUDIO THONGDEN/SHUTTERSTOCK - IMAGEFLOW/SHUTTERSTOCK
MAR.SWAD - TUN.TEND - CAN.TOSCAD

L 13418 - 951 - F: 5,30 € - RD

EXPOSITION
15 AVRIL – 16 AOÛT 2026

MUSÉE DE L'ARMÉE INVALIDES

EXPLORATIONS : UNE AFFAIRE D'ÉTAT ?

300 ANS D'HISTOIRE DES ABYSSES À L'ESPACE

Gratuit pour les jeunes de –26 ans

Le musée de l'Armée – Invalides est ouvert tous les jours de 10 h à 18 h, toute l'année. L'exposition est ouverte en soirée jusqu'à 20 h chaque samedi du 6 juin au 11 juillet.

musee-armee.fr

© Illustration : Brol & Prascida

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef

Un projet scientifique hors norme

La décision promet d'être historique : la plus grande collaboration mondiale de chercheurs — issus de 25 États membres — s'apprête à s'engager en faveur du plus grand projet de physique fondamentale de tous les temps. Au Cern, le « temple mondial de l'infiniment petit », le successeur du célèbre LHC (le grand collisionneur de hadrons), qui a permis de débusquer le boson de Higgs, doit recréer des conditions similaires à celles de l'Univers juste après le Big Bang, pour explorer les limites du modèle standard. À cheval sous les territoires français et suisse, à 200 mètres de moyenne sous terre, il consiste en un anneau de près de 100 km de circonférence. Des électrons et leurs antiparticules, les positons, y seront accélérés en sens inverse à une vitesse telle qu'il ne leur faudra que 300 microsecondes pour en faire le tour jusqu'à une fatale collision frontale. Chaque seconde, ces collisions se compteront par dizaines de millions. L'enjeu n'est rien de moins que de débusquer la matière noire, qui composerait 85 % de la matière de l'Univers et dont la nature nous échappe toujours complètement. Et de comprendre pourquoi la matière l'a emporté sur l'antimatière alors qu'elles ont été produites en quantités égales au moment du Big Bang. Le projet peut paraître déraisonnable — la construction de ce futur collisionneur est estimée à 16 milliards d'euros — d'autant qu'il est impossible de le « vendre » en promettant une multitude d'applications. Mais c'est ce qui en fait la beauté. La science au service de la seule connaissance. À travers ce dossier, *Sciences et Avenir* vous propose bien plus qu'une plongée dans un projet scientifique hors norme. Nous vous invitons à entrer dans le laboratoire des grandes questions, celles qui touchent aux origines de l'Univers. C'est peut-être cela, au fond, l'expérience ultime. ■

Nous vous invitons à entrer dans le laboratoire des grandes questions, celles qui touchent aux origines de l'Univers

SCIENCES ET AVENIR

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (11 numéros dont un double) : 35 € 1 an complet (11 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 €. Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233.304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Rédacteur en chef Sciences et Avenir Mathieu NOWAK - 01.55.35.56.38
Rédacteur en chef La Recherche Philippe PAJOT - 01.70.98.19.29
Rédacteur en chef digital Olivier LASCAR - 01.55.35.56.15
Rédaction en chef Les Dossiers Vincent REA - 01.55.35.56.35 avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Hugo JALINIÈRE (Sciences et Avenir) - 01.55.35.56.52
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59, Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28, Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Chef(fe)s de service Rachel FLÉAUX (MULOT) (environnement, évolution) - 01.55.35.56.07, Fabrice NICOT (fondamental) - 01.55.35.56.46, Hervé RATEL (adjoint, actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78, Mathias GERMAIN (La Recherche, biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33, Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Rédaction Marine BENOIT (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.23
Arnaud DEVILLARD (numérique, expositions) - 01.55.35.56.27
Sylvie ROUAT (grand reporteure, espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Assistante de direction Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueur Jean-Gabriel GANASCIA
Ont participé à ce numéro : T. BRAJARD, T. de BASTARD, M.-C. DUVERNOY, C. GOYA, N. GUTIERREZ C., Y. HERRERA, M. JULIEN, P. KALDY, G. LALU, A. VERNET
1re secrétaire de rédaction Sandrine HAGÈGE - 01.55.35.56.17
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Pôle digital Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70, Isabelle DO O'GOMES (cheffe de rubrique, veille) - 01.55.35.56.49, Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24, Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15, Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56, Astrid SAINT AUGUSTE (rédactrice spécialisée) - 01.55.35.56.48, Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Yann BOURDAIS chef de projet junior - Flora ISSINGUI cheffe de projet marketing digital
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines William AFTHONIADES - wafthoniades@challenges.fr
Responsable paye Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Creatoprint
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable réabonnement Yasmina FERHAT – 01.55.35.56.64
Responsable du marketing direct Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Partenariats et événements Alain SCEMAMA - 01.58.65.03.58
Publicité MediaObs 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directrice de publicité Caroline GILLES - 01.44.88.89.03
Exécution Émilien RIGNOLS - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20

Les Éditions Croque Futur SAS au capital de 10 100 000 euros associé UFIPAR (LVMH) - 41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Président et directeur de la publication Maurice SZAFRAN
Directeur général Thierry MASSÉ

Ce magazine est imprimé chez RotoFrance, 25, rue de la Maison Rouge 77185 Lognes
Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,018 kg/tonne de papier

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC 10-31-1557 pefc-france.org

FR

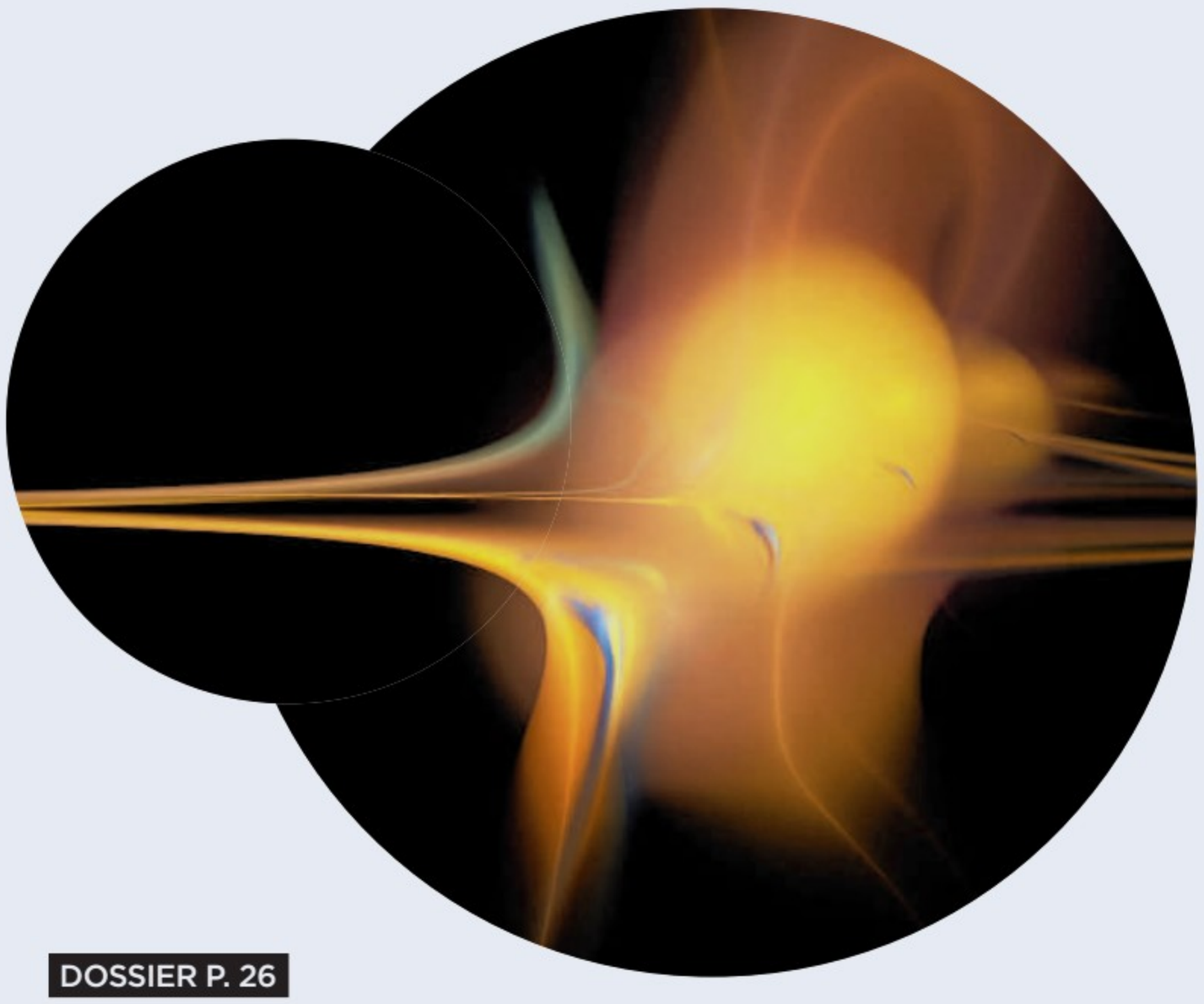
ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte : les lettres « Sciences et Avenir bienvenue aux abonnés » « Sciences et Avenir Parrainage » et les encarts « Sophia Boutique - Spéciale fêtes des Mères - Bracelet Manchette » jetés sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés ; ainsi que l'encart « Fashion - Baskets » jeté sur couverture sur la totalité de la diffusion abonnés. Ainsi que le message « Sciences et Avenir-offre spéciale parrainage ».

Commission paritaire n° 1126 K 79712.
ISSN 3040-0457. Distribué par MLP.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 951 / Mai 2026



DOSSIER P. 26

ACCÉLÉRATEUR DE PARTICULES

L'expérience ultime

Le futur collisionneur circulaire du Cern sera sans nul doute la plus grande expérience fondamentale jamais construite par l'humanité. Si ce projet aboutissait, il recréerait des conditions similaires à celles de l'Univers juste après le Big Bang.

3 **Édito** par Mathieu Nowak

ÉVÉNEMENT

6 **La Nasa accélère son retour sur la Lune**

SCIENCES FONDAMENTALES

10 **ACTUALITÉS** Une étoile « fossile » éclaire l'aube de l'Univers / Premier transport d'antimatière au Cern

22 **Journal de l'IA : Comment l'IA tente d'être éthique**

40 **Astrophysique : les trous noirs de masse intermédiaire se dévoilent**

44 **La France, refuge des scientifiques américains ?**

NATURE

14 **ACTUALITÉS** La longue évolution des cépages en France / La consanguinité pèse sur les ours des Pyrénées

48 **Chiens et chats : les nouveaux espoirs pour augmenter leur longévité**

53 **Entre barrages et quotas, l'anguille étouffe**

56 **Entretien avec Marc-André Selosse, du Muséum national d'histoire naturelle**

SANTÉ

16 **ACTUALITÉS** Une IA invente des génomes inédits / Le clonage a des limites biologiques

58 **Médicaments : le piège des ordonnances à rallonge**

63 **Une épreuve sportive pour athlètes dopés**

66 **Le dépistage du cancer du poumon testé en France**

68 **Nutrition : La bombe calorique du poulet frit**

HISTOIRE

20 **ACTUALITÉS** À Dijon, ces morts défient les archéologues / Les origines bouleversées de la bipédie

72 **Palimpsestes : les révélations des parchemins médiévaux**

75 **Sur la piste des premiers Américains**

78 **Histoire des sciences : Le culte oublié de Carl von Linné**

RENDEZ-VOUS

82 **Sélection livres**

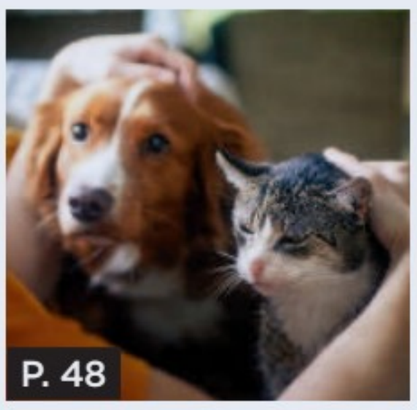
84 **Expositions**

86 **Questions de lecteurs**

87 **Courrier**

88 **Le ciel de mai**

90 **À retrouver sur le Web**



P. 48

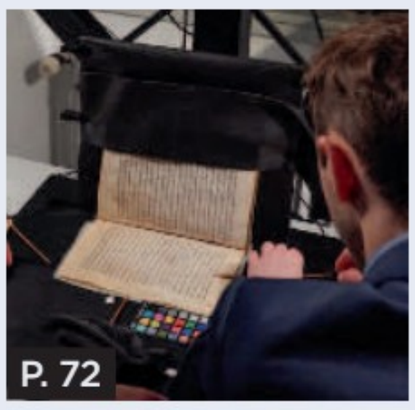
La longévité des chiens et chats à la loupe

L'espérance de vie de nos animaux de compagnie augmente depuis 30 ans et des programmes de recherche se multiplient pour rallonger la période où ils vieillissent en bonne santé.

P. 58

Médicaments : les ordonnances à rallonge

Chez les personnes âgées, l'accumulation de traitements les expose à des effets indésirables et des hospitalisations évitables. Un enjeu croissant de santé publique. Enquête.



P. 72

Les révélations des palimpsestes médiévaux

Une abbaye bénédictine a autorisé des chercheurs à étudier et photographier ses plus précieux parchemins dans l'espoir d'y découvrir des textes cachés d'auteurs antiques. Reportage.

SCIENCE PHOTO LIBRARY / EQUINOX GRAPHICS/SUCRÉ SALÉ - GETTY IMAGES - GARO/PHANIE - MARIKA JULIEN

EN DÉFISCALISANT LEUR IFI, SYLVIE ET JEAN NE SERONT PAS TAXÉS D'ÉGOÏSME.

Pour en savoir plus sur les avantages fiscaux,
rendez-vous sur ifi.fondationdefrance.org
ou appelez le 01 44 21 87 87

Fondation de France

La Fondation
de toutes les causes

La Nasa accélère son retour sur la Lune

Après le succès de la mission habitée de survol de la Lune en avril, la Nasa remanie la feuille de route du programme Artemis en multipliant ses vols d'essais, avec un premier alunissage toujours prévu pour 2028.

L'exploit est historique ! Le 6 avril, les quatre astronautes de la mission Artemis II de la Nasa ont survolé la Lune, une première pour des humains depuis 1972. À cette occasion, ils sont allés dans l'espace plus loin que tout être humain auparavant. En atteignant un record de distance, à 406 771 km de la Terre, ils ont battu de 6000 km celui établi par la mission Apollo 13 en 1970. Après le survol de la face visible, les astronautes américains Reid Wiseman, Victor Glover, Christina Koch et le Canadien Jeremy Hansen ont découvert la face cachée de la Lune à une distance minimale de 6545 kilomètres de la surface lunaire.

Dans le même temps, le silence radio régnait dans la salle de contrôle à Houston (États-Unis), la Lune bloquant les communications entre le vaisseau Orion et la Terre. C'est durant cette phase que la trajectoire du véhicule a atteint son point le plus éloigné, la gravité lunaire « catapultant » Orion vers l'extérieur avant que la capsule n'entame la phase retour. Lorsque la connexion a été rétablie, un croissant de Terre bleu est apparu sur les écrans à Houston, et les manifestations de joie ont éclaté. Si les images enregistrées lors de ce tour de Lune sont de haute résolution, c'est surtout l'œil humain qui a permis de réaliser des observations inédites, telles que des flashs de lumière causés par des impacts météoritiques à la surface de la Lune, lorsque celle-ci était plongée dans l'obscurité.

Un enjeu prioritaire dans la compétition avec la Chine

« Tous ces cratères récents qui sont particulièrement brillants — certains sont minuscules… En réalité, cela ressemble à un abat-jour parsemé de minuscules trous et à travers lequel filtre la lumière », a décrit Christina Koch depuis la capsule. Les astronautes ont également pu admirer un coucher et un lever de Terre. Puis, à l'issue de sept heures de survol, un spectacle exceptionnel s'est offert à eux : une rare éclipse solaire vue depuis l'espace, lorsque la Lune et le Soleil se sont alignés, cachant la lumière de notre étoile pendant plus de cinquante minutes. Partis de Cap Canaveral en Floride (États-Unis) le 1er avril, la capsule Orion et son équipage ont amerri sans encombre dans l'océan Pacifique dix jours plus tard.

« Après une brève interruption de 54 ans, la Nasa reprend sa mission d'envoyer des astronautes vers la Lune », a déclaré Jared Isaacman, l'administrateur de l'agence spatiale américaine. Celui-ci avait annoncé fin mars, à Washington, un remaniement de la feuille de route du programme Artemis, lors d'un événement baptisé Ignition (mise à feu), *« parce qu'il marque le début d'un parcours transformateur pour la Nasa »*, indiquait-il en préambule. *« Nommé en décembre 2025, il s'est approprié son rôle d'administrateur de la Nasa en mettant en avant la notion d'intérêt général,* souligne Xavier Pasco, spécialiste de la politique spatiale américaine et directeur

Plus de 57 ans après le premier cliché d'un lever de Terre pris par un astronaute d'Apollo 8, ce coucher de Terre a été immortalisé par le nouvel équipage d'Artemis II le 6 avril.

NASA / SIPA

de la Fondation pour la recherche stratégique. *Pour lui, le programme lunaire tel qu'il a été conçu ne permet pas aux États-Unis de revenir sur la Lune le plus tôt possible et dans des conditions optimales. D'où la nécessité de réformer. Le centre de gravité ne doit plus être des acteurs privés, mais bien l'agence elle-même. Enfin, il cherche à répondre aux attentes de l'administration américaine en intégrant pleinement que l'implantation lunaire est un enjeu prioritaire dans un contexte de course avec la Chine.* »

Pékin a, en effet, annoncé vouloir envoyer les premiers taïkonautes (du chinois *taikong* signifiant espace ou cosmos) sur notre satellite naturel avant 2030. « *La différence entre le succès et l'échec se mesurera en mois, et non en années,* a indiqué Jared Isaacman. *Ils pourraient être en avance, et l'histoire récente suggère que nous pourrions être en retard.* » Constatant que « *les résultats sont devenus moins importants et que les compétences se sont érodées* », l'administrateur veut « *recréer une mémoire musculaire* » en intensifiant les lancements de son lanceur lourd SLS et de la capsule Orion. Il s'inspire ainsi d'une formule qui a fait le succès du programme Apollo dans les années 1960. Il fait aussi le constat qu'il n'est pas réaliste d'envoyer des astronautes sur la Lune sans une autre mission préparatoire.

Ce sera donc Artemis III. Programmée pour 2027, cette mission devra tester en orbite terrestre basse les capacités de rendez-vous et d'amarrage entre Orion et au moins l'un des deux vaisseaux spatiaux commerciaux de SpaceX et Blue Origin. Initialement, c'était le vaisseau lunaire Starship HLS qui devait assurer le retour des humains sur la Lune lors de

ABACAPRESS

« L'objectif n'est pas de planter un drapeau et de laisser des empreintes. Cette fois, l'objectif est de rester »

Jared Isaacman, administrateur de la Nasa

la prochaine mission. Mais le concept de SpaceX n'a pas encore démontré un vol orbital complet fiable à ce jour. Il faut dire que cette solution repose sur une architecture complexe qui cumule les « premières ». L'alunisseur Starship devrait d'abord aller en orbite basse pour y être ravitaillé en carburant, ce qui nécessiterait plusieurs lancements et une coordination précise. Il gagnerait ensuite l'orbite lunaire pour servir de navette entre la capsule Orion et la surface de la Lune. Désormais, le Starship est concurrencé pour ce premier alunissage par le Blue Moon, l'atterrisseur plus classique de Blue Origin — la société spatiale de Jeff Bezos. La mission Artemis III permettra également de tester les nouvelles combinaisons spatiales d'Axiom Space, qui intègrent de nombreuses innovations, offrant une meilleure mobilité et une ergonomie supérieure à celles du programme Apollo.

AP/ SIPA

L'équipage d'Artemis II (en haut, Christina Koch, Victor Glover ; en bas, Jeremy Hansen et Reid Wiseman) admire une éclipse solaire depuis Orion.

L'alunissage des premiers astronautes au pôle sud avec Artemis IV est prévu pour début 2028 — avant la fin du mandat de Donald Trump. La même année, une seconde mission d'exploration devrait entamer la construction d'une base lunaire. Artemis IV et V utiliseront les atterrisseurs prêts au service. S'il n'y en a qu'un seul disponible, il sera employé pour les deux missions. Si le Starship et Blue Moon sont prêts, chacun sera affecté à une mission différente.

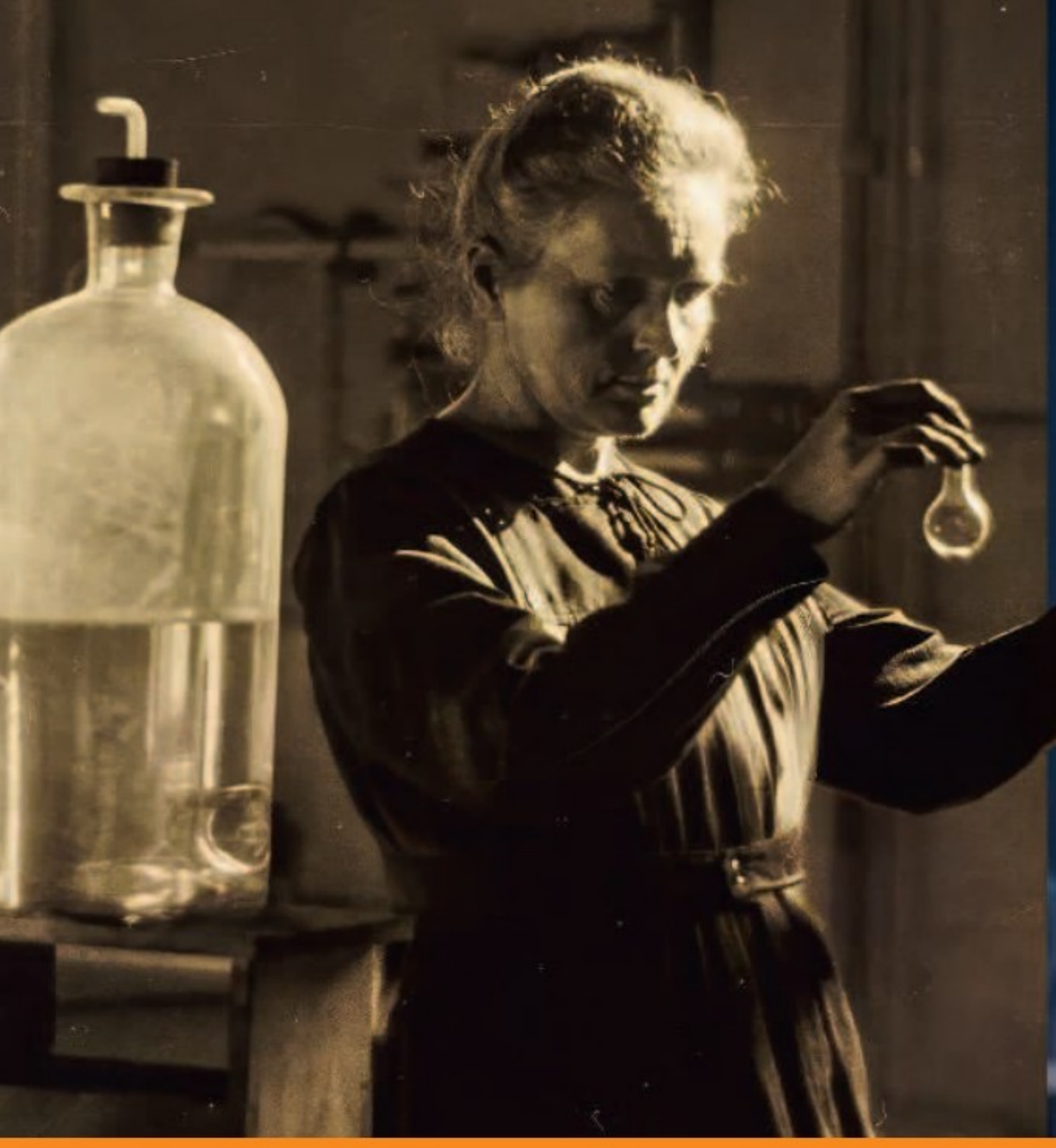
La Nasa prévoit ensuite de réaliser une mission habitée par an, et de multiplier les missions robotiques pour préparer le terrain. De 2029 à 2032 devraient être installées les premières infrastructures essentielles : panneaux solaires, générateurs d'énergie, véhicules pressurisés, etc. Au-delà, l'agence spatiale américaine projette d'instaurer une présence humaine continue sur la Lune, dans des habitats équipés pour accueillir des missions de 28 jours et plus. *« Cette fois, l'objectif n'est pas simplement de planter un drapeau et de laisser des empreintes. Cette fois, l'objectif est de rester »*, martèle Jared Isaacman.

Plus claire, plus ambitieuse, cette nouvelle feuille de route a fait une victime collatérale : la construction de la station orbitale Lunar Gateway, qui devait servir de base arrière autour de la Lune, est désormais abandonnée. *« C'est un autre signal envoyé,* remarque Xavier Pasco, *qui permet d'affirmer que l'industrie prioritaire reste avant tout l'industrie américaine.* » Concrètement, cela se traduit par des coupes qui affectent surtout les contributions étrangères (*lire l'encadré ci-contre*). Le message politique est clair, dans l'esprit du slogan *« Make America Great Again »*. ■ **Sylvie Rouat**

COOPÉRATION INTERNATIONALE

L'Europe pénalisée par l'annulation du projet de station Gateway

L'annulation du projet de station en orbite lunaire est un coup dur pour l'Europe, qui a déjà livré à la Nasa le module d'habitation et de logistique de Gateway, un autre module étant en cours de fabrication dans les installations de Thales Alenia Space en Italie. *« Cette situation montre que dans les projections stratégiques américaines, l'Europe pèse peu,* analyse Xavier Pasco. *Cela s'est déjà produit à l'époque de la navette spatiale, quand des expériences cruciales pour des agences européennes étaient brutalement annulées : une lettre, et tout s'arrêtait.* » Dans ce contexte, que va-t-il advenir des accords passés avec la Nasa, qui prévoyaient l'envoi de trois astronautes européens dans des missions Artemis ? *« On est loin de l'esprit des accords mis en place pour la Station spatiale internationale, qui reposaient sur un équilibre fondé sur des échanges en nature,* poursuit Xavier Pasco. *Chaque partie apportait des éléments en contrepartie de droits. Aujourd'hui, les contributions européennes voient leur valeur devenir incertaine dans la nouvelle architecture. Si le rôle de l'Europe est remis en question, ses droits — et donc l'accès à des vols d'astronautes — changent. Cela crée une incertitude importante pour la suite de la coopération. »*



TRANSMETTRE L'ESPOIR DE VAINCRE LE CANCER

institut Curie

Léguer tout ou partie de ses biens à l'Institut Curie,
1er centre français de recherche en cancérologie,
est un formidable message d'espoir.

Agissez avec nos chercheurs pour les générations à venir.

LEGS – DONATION – ASSURANCE-VIE

curie.fr

POUR TOUT RENSEIGNEMENT : Institut Curie - direction des relations donateurs
26, rue d'Ulm - 75248 Paris CEDEX 05 - 01 56 24 55 34 - legs@curie.fr

DEMANDE DE DOCUMENTATION à compléter et à retourner sous enveloppe à l'adresse ci-dessus.

institut Curie

☐ **Je désire recevoir votre documentation sur les legs, donations et assurances-vie en faveur de l'Institut Curie.**

PLI CONFIDENTIEL, GRATUIT ET SANS ENGAGEMENT DE VOTRE PART.

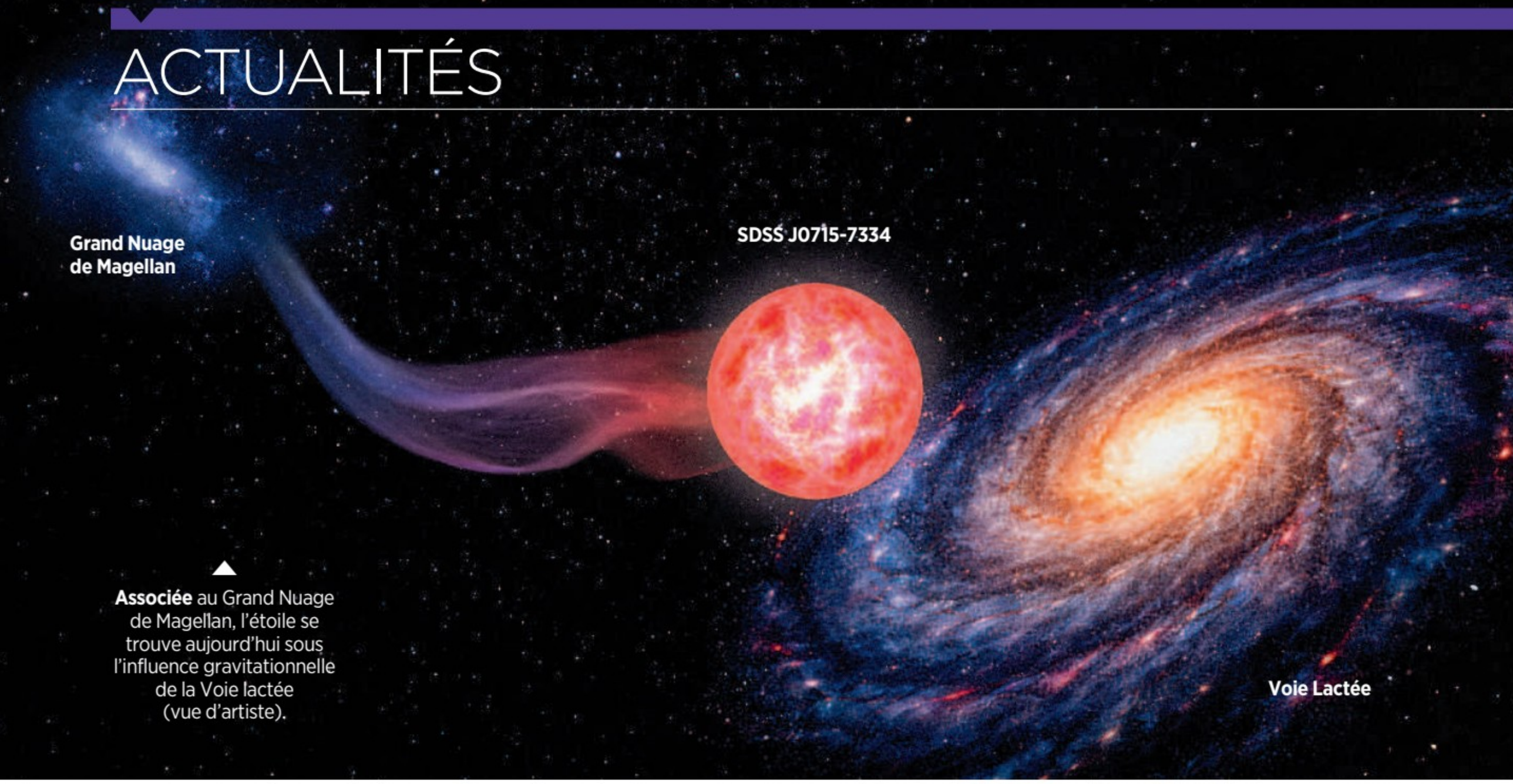
S&A0526

☐ Mme ☐ M. Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_| Ville : ..... Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_|

Les informations recueillies sur ce formulaire sont enregistrées dans un fichier informatisé par l'Institut Curie qui dispose d'un délégué à la protection des données : dpo@curie.fr. Elles sont destinées à la Direction des relations donateurs et aux tiers mandatés par l'Institut Curie à des fins de gestion interne, pour répondre à vos demandes et faire appel à votre générosité. L'Institut Curie s'engage à ne pas sortir les données en dehors de l'Union Européenne. Ces données peuvent faire l'objet d'un échange à des tiers du secteur caritatif, VPC ou presse. Vous pouvez vous y opposer en cochant la case ci-contre ❑
Conformément à la loi « informatique et libertés » et à la règlementation européenne, vous pouvez vous opposer à l'utilisation de vos données à caractère personnel. Vous pouvez également introduire une réclamation auprès de la CNIL. A tout moment, vous bénéficiez d'un droit d'accès à vos données pour leur rectification, limitation, portabilité ou effacement, en contactant : Direction des relations donateurs - 26 rue d'Ulm - 75248 Paris cedex 05. Tél : 01.56.24.55.66. Elles sont conservées pendant la durée strictement nécessaire à la finalité précitée.



▲ **Associée** au Grand Nuage de Magellan, l'étoile se trouve aujourd'hui sous l'influence gravitationnelle de la Voie lactée (vue d'artiste).

Une étoile « fossile » éclaire l'aube de l'Univers

Formée il y a plus de dix milliards d'années, cette étoile exceptionnellement pauvre en éléments lourds livre de précieux indices sur la naissance des premières générations d'astres.

Une étoile presque intacte depuis l'aube de l'Univers se cachait dans notre voisinage galactique. SDSS J0715-7334 se situe à près de 80 000 années-lumière de nous, près du Grand Nuage de Magellan, une galaxie satellite de la nôtre. Sa masse est estimée à environ 0,8 masse solaire. Les auteurs de la publication parue dans *Nature Astronomy,* le 1er avril 2026, ne donnent pas d'estimation précise de son âge, mais elle s'est formée très tôt dans l'histoire de l'Univers, probablement il y a plus de dix milliards d'années. Elle appartiendrait ainsi à la deuxième génération d'étoiles, après les mythiques étoiles de population III, premiers soleils de l'Univers.

SDSS J0715-7334 a été repérée dans les données du Sloan Digital Sky Survey (SDSS-V), un vaste programme d'observation du ciel qui analyse la lumière de millions d'étoiles. Elle a ensuite été étudiée en détail grâce aux deux télescopes Magellan, au Chili. L'analyse spectroscopique révèle une composition chimique extrême : elle contient moins de 0,005 % des éléments lourds présents dans le Soleil, soit environ deux fois moins que le précédent record. Plus surprenant encore, cette étoile est chimiquement plus primitive que certaines galaxies très lointaines observées par le télescope spatial James-Webb, remontant à seulement 200 millions d'années après le Big Bang.

Une descendante de supernova

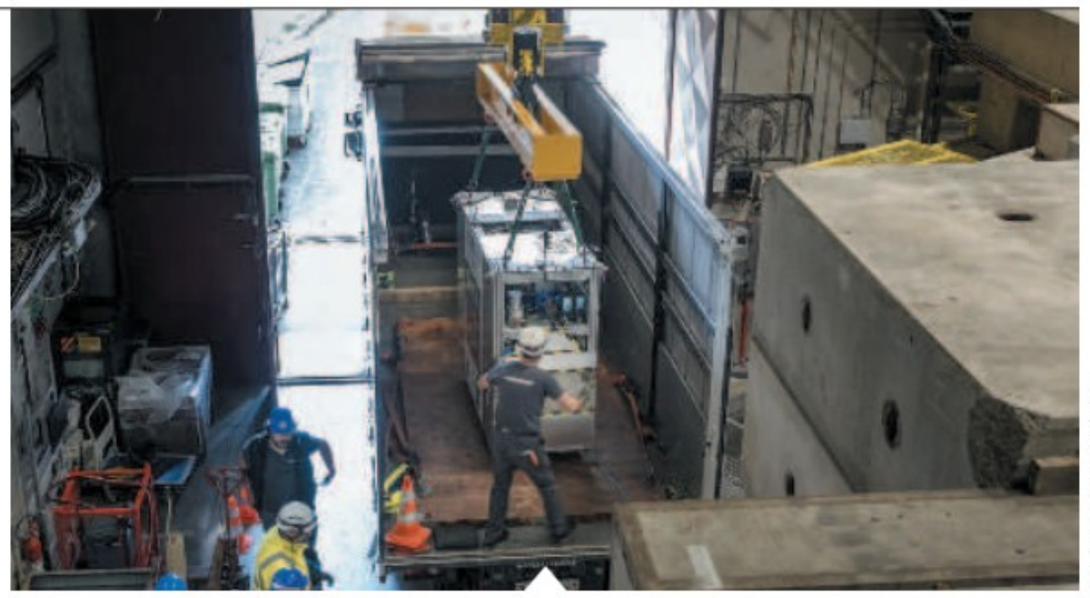
C'est cette pauvreté chimique qui trahit son ancienneté, car elle constitue un héritage direct de la première génération d'étoiles. Les étoiles dites de population III ont depuis longtemps disparu, mais en explosant, elles ont semé dans le cosmos les premiers éléments plus lourds que l'hélium. C'est dans ce matériau à peine enrichi que se sont formées leurs descendantes directes, dont SDSS J0715-7334. En analysant sa composition, les chercheurs ont même pu remonter à l'étoile qui l'a précédée : il s'agissait d'un astre environ trente fois plus massif que le Soleil, qui a explosé en supernova.

Au-delà du record, cette découverte éclaire un moment clé de l'histoire cosmique. Ses propriétés suggèrent qu'elle s'est formée grâce à la présence de minuscules grains de poussière, indispensables pour refroidir le gaz primordial et permettre la naissance d'étoiles de faible masse. Une étape encore mal comprise, au cœur de la transition entre les premières étoiles géantes et les populations stellaires actuelles. ■ **Fabrice Nicot**

NAVID MARVI/CARNEGIE SCIENCE

Premier transport d'antimatière au Cern

Ce test est une étape indispensable avant la livraison d'antimatière à d'autres laboratoires en Europe.



FABRICE COFFRINI / AFP

Un piège cryogénique portable a été chargé à bord du camion pour transporter les antiprotons en toute sécurité.

C'est un convoi très exceptionnel qui a circulé du côté du Cern (Organisation européenne pour la recherche nucléaire), le 24 mars dernier. Un camion, siglé « Antimatter in motion », transportait 92 antiprotons dans ses flancs. Une première loin d'aller de soi, car l'antimatière s'annihile instantanément au contact de la matière. Il fallait donc l'isoler parfaitement durant le trajet. Pour cela, les chercheurs ont utilisé un dispositif cryogénique capable de ralentir les antiprotons en les refroidissant à -268 °C, puis de les piéger à l'aide de champs électrique et magnétique, sans contact avec la matière. Le dispositif, d'environ 1 tonne, a été placé avec soin dans la remorque du camion… pour une simple balade sur le campus du Cern. Il s'agissait de tester la méthode. Par la suite, les antiprotons seront expédiés vers des laboratoires plus lointains afin d'y effectuer des mesures de précision. Celles-ci sont en effet difficiles à réaliser près de l'usine à antimatière, perturbée par les champs magnétiques nécessaires à sa production. **F. N.**

EN DEUX MOTS

INSOLITE La start-up américaine TransAstra veut créer une « lune artificielle » en capturant et en regroupant des astéroïdes en orbite terrestre, grâce à un sac gonflable testé dans l'espace. **PLANÈTE** Un immense tube de lave souterrain, large de près de 1 km, a été identifié sous la surface de Vénus, en analysant des données radar. **MATÉRIAUX** Des chercheurs sont parvenus à synthétiser de la lonsdaléite, un diamant à structure hexagonale, plus dur que le diamant classique, ouvrant la voie à de nouvelles applications.

WPI

Le robot « chauve-souris » se faufile entre les arbres.

Des drones guidés par écholocation

INGÉNIERIE Un système d'écholocation inspiré de la chauve-souris a permis à des drones de se diriger sans caméra. Testés en laboratoire comme en extérieur, ces robots aériens miniatures évitent les obstacles dans la fumée ou l'obscurité en émettant des ultrasons et en analysant leur écho. L'objectif est d'intervenir là où les systèmes classiques échouent, notamment pour la recherche de survivants en zones sinistrées. **H. J.**

SOURCE : MANOJ VELMURUGAN, INSTITUT POLYTECHNIQUE DE WORCESTER, ÉTATS-UNIS

800 000

Le nombre d'alertes en une nuit pour le Vera-Rubin

ASTRONOMIE L'observatoire Vera-Rubin (Chili), encore en phase de mise en service, a généré en une seule nuit un volume inédit de détections — variations d'étoiles, astéroïdes en mouvement ou explosions stellaires —, preuve de la puissance de ce télescope géant conçu pour cartographier le ciel. **H. J.**

Une sonde à propulsion nucléaire vers Mars

ESPACE Une sonde propulsée par un réacteur nucléaire sera lancée fin 2028 vers Mars, a annoncé la Nasa. Une première pour une mission interplanétaire. Baptisé Space Reactor-1 Freedom, l'engin utilisera l'énergie issue de la fission d'atomes d'uranium pour produire de l'électricité, afin de voyager plus loin et plus rapidement qu'avec les technologies habituelles. La mission embarquera par ailleurs trois hélicoptères, destinés à survoler et explorer de manière autonome la surface martienne. **F. D.**

NASA

L'engin de la Nasa devrait partir fin 2028 (vue d'artiste).

LATENT

À VOIR SUR LE NET

Un humanoïde apprend à jouer au tennis

ROBOTIQUE Une équipe asiatique présente, en vidéo, un robot humanoïde capable d'échanger des balles avec un humain grâce à un apprentissage inédit. La machine, entraînée à partir de fragments de mouvements humains recomposés par une IA, parvient à coordonner déplacements et frappes avec une dextérité qui illustre les progrès de la robotique. **H. J.**

SOURCE : ZHIKAI ZHANG, UNIVERSITÉ TSINGHUA, CHINE

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

IL A DIT

« Il est fascinant qu'un noyau galactique actif puisse voir sa luminosité varier de façon aussi spectaculaire en si peu de temps »

Tomoki Morokuma, chercheur à l'Institut de technologie de Chiba (Japon), dont l'équipe vient de montrer que la galaxie J0218−0036, située à 10 milliards d'années-lumière, a vu sa luminosité divisée par 20 en vingt ans. Une baisse qui serait due à l'activité de son trou noir central qui, après avoir dévoré du gaz, serait désormais au régime sec.

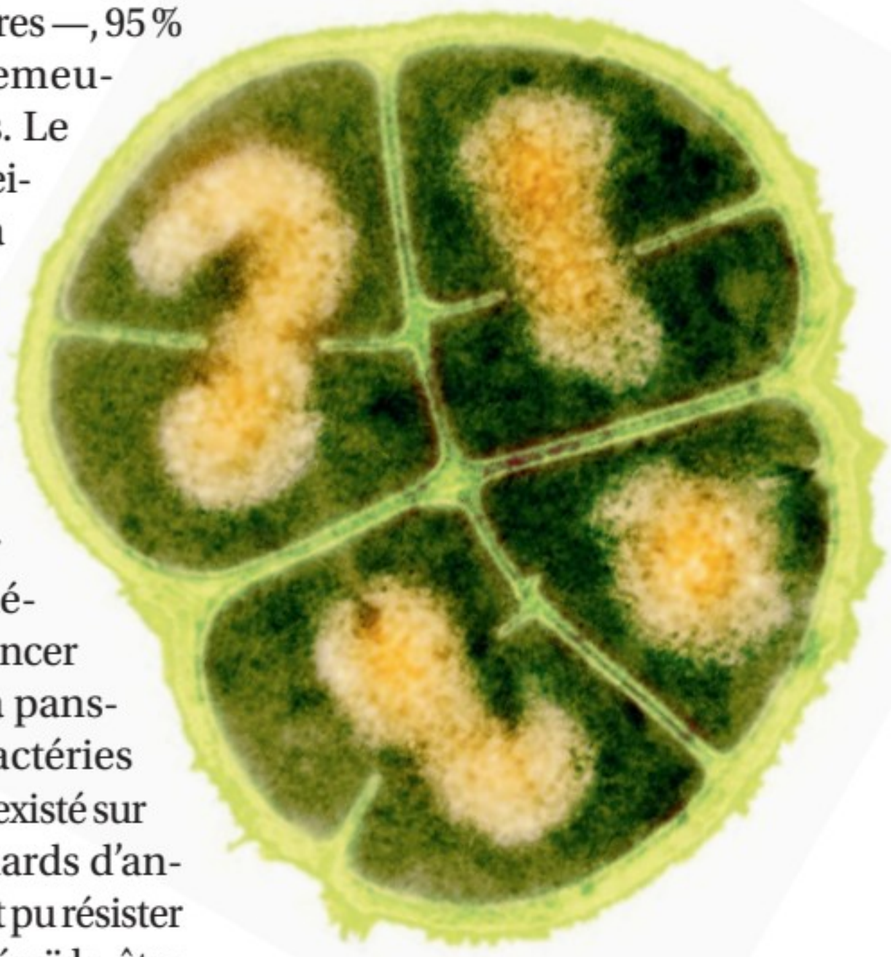
Dart a modifié la course d'un astéroïde

ESPACE En 2022, la sonde Dart de la Nasa percutait volontairement l'astéroïde Dimorphos pour tester une technique de défense planétaire. Le choc avait raccourci alors de 33 minutes la période orbitale de cette petite lune autour de son compagnon Didymos, cinq fois plus gros. De nouvelles observations montrent que l'impact a aussi modifié l'orbite de ce système binaire autour du Soleil. Sa période de 770 jours a été réduite, en effet, de 0,15 seconde. Une variation infime qui valide cependant notre capacité à changer la trajectoire d'objets célestes menaçants. **F. D.**

La bactérie qui résiste à un impact d'astéroïde

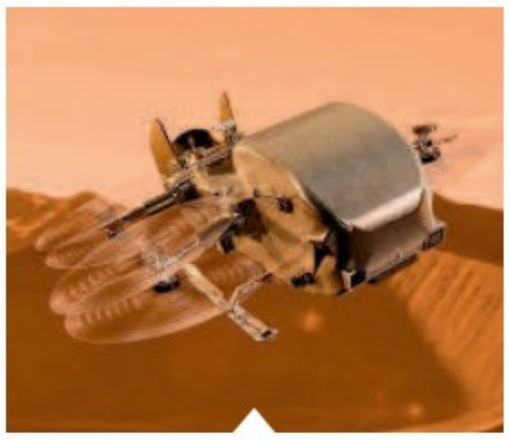
Des expériences montrent que « Deinococcus radiodurans » peut survivre à des pressions comparables à celles d'un impact céleste.

On la savait déjà résistante aux rayonnements ionisants, aux ultraviolets, à la dessiccation, à la famine, au froid extrême ou au vide de l'espace… Voilà que *Deinococcus radiodurans* — surnommée *« Conan la bactérie »* — peut survivre aussi à un impact d'astéroïde ! Pour le prouver, des scientifiques de l'université Johns-Hopkins (États-Unis) ont placé des colonies de ce fascinant organisme entre deux plaques métalliques soumises à de puissantes ondes de choc. À une pression de 1,3 gigapascal (GPa) — soit plus de dix fois celle exercée au fond de la fosse des Mariannes, le point le plus bas des océans terrestres —, 95 % des microbes demeuraient indemnes. Le taux de survie atteignait encore 60 % à 2,4 GPa. Et 20 % à 3 GPa, une pression similaire à celle produite par l'impact d'un objet céleste sur une surface planétaire. De quoi relancer l'hypothèse de la panspermie : si des bactéries de ce type avaient existé sur Mars il y a 4 milliards d'années, elles auraient pu résister à la chute d'un astéroïde, être éjectées dans l'espace avant de tomber sur notre planète pour l'ensemencer. **F. D.**



« D. radiodurans » en groupe de quatre (vue au microscope).

SPL/SUCRE SALÉ

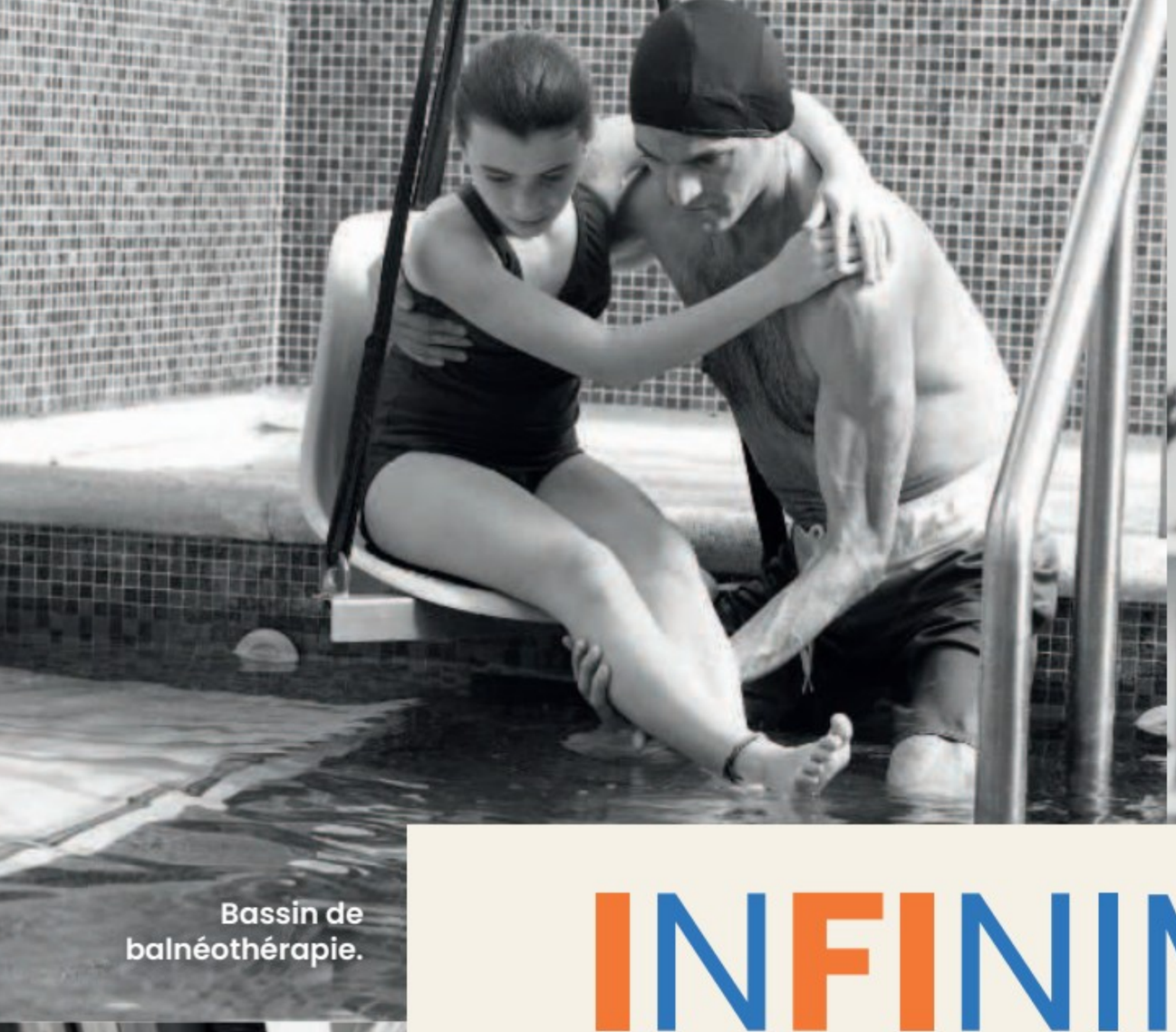


Le drone se posera sur la plus grande lune de Saturne en 2034.

NASA

Dragonfly se prépare pour Titan

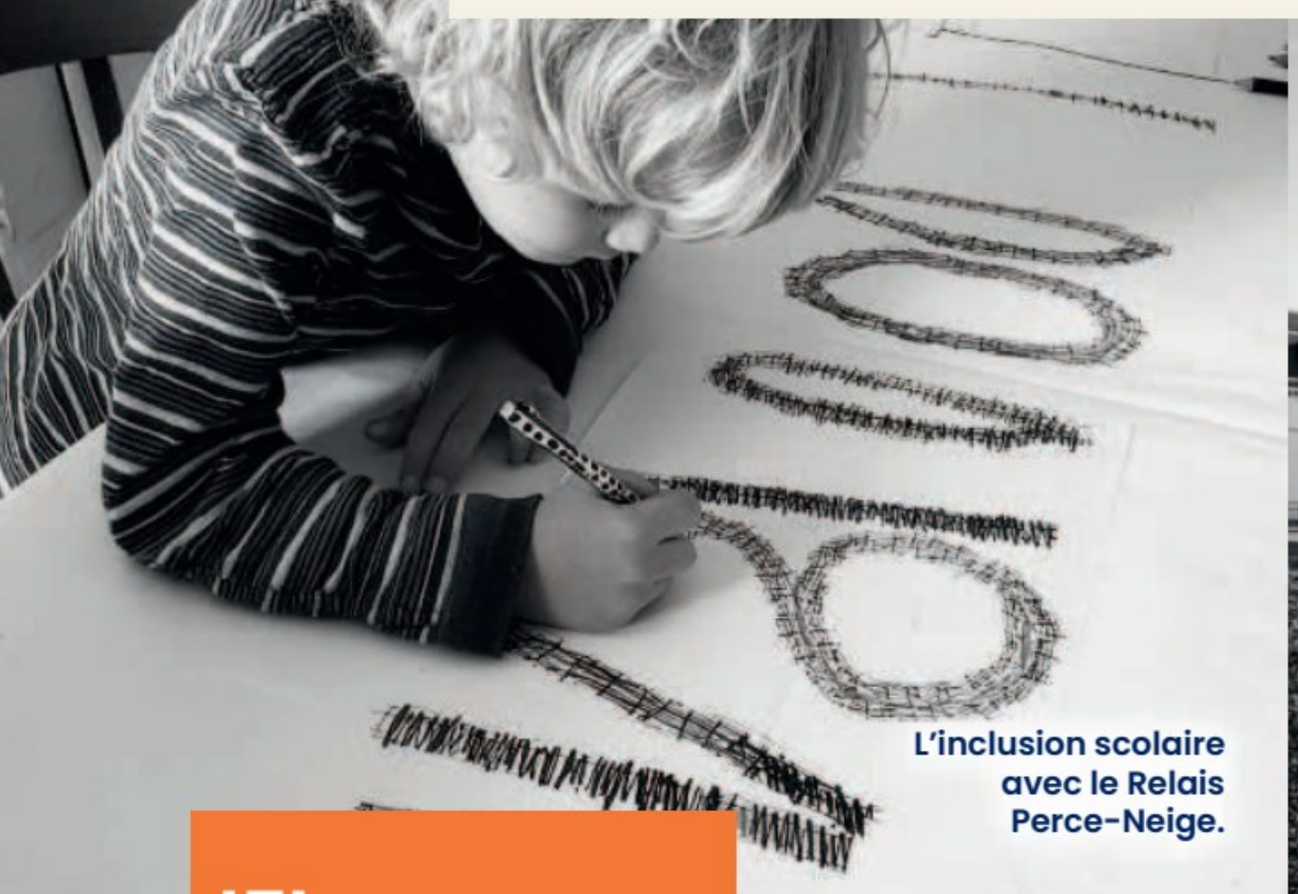
EXPLORATION La construction du drone hélicoptère Dragonfly a officiellement commencé au centre Johns-Hopkins de la Nasa, dans le Maryland (États-Unis). De la taille d'une voiture, l'engin sera lancé à l'été 2028 pour un voyage de six ans vers Titan, la plus grosse lune de Saturne. Grâce à sa propulsion nucléaire, il explorera divers sites afin d'étudier la chimie, la géologie et l'atmosphère de cette lune océanique glaciale, en vue de mieux comprendre les origines chimiques de la vie. **S. R.**



Bassin de balnéothérapie.

Aménagement d'habitats inclusifs.

INFINIMENT... BESOIN DE VOUS !



L'inclusion scolaire avec le Relais Perce-Neige.

Maison Perce-Neige de Colombes.

IFI : 75% du montant de votre don est déductible.

La Fondation Perce-Neige est habilitée à recevoir les dons au titre de l'IFI.

En faisant un don déductible de votre Impôt sur la Fortune Immobilière (IFI) à la Fondation Perce-Neige, vous soutenez des projets essentiels, tels que l'aménagement d'habitats inclusifs, la création de bassins de balnéothérapie, l'inclusion scolaire, ainsi que la construction et rénovation de Maisons Perce-Neige. Vous contribuez ainsi à des projets solidaires et durables qui changent la vie des plus fragiles de nos concitoyens. **Merci pour votre engagement !**

Don en Confiance – VOTRE DON, NOTRE ENGAGEMENT

Le service donateurs est à votre disposition afin d'échanger sur les projets de la Fondation Perce-Neige au 01 47 17 19 30 ou service-donateurs@perce-neige.org

www.perce-neige.org

7, bis rue de la Gare - CS 20171 - 92594 Levallois-Perret Cedex

La Fondation Perce-Neige est reconnue d'utilité publique par décret en date du 13 mai 2016. Toute reproduction est interdite.

60 ANS

FONDATION PERCE NEIGE

Photos : Fondation Perce-Neige, Adobe Stock, Getty Image.

La longue évolution des cépages en France

Des données génétiques inédites éclairent les transformations de la vigne sous l'effet des pratiques humaines et des conditions locales.

JEAN-LOUIS VERMOT-DESROCHES/NATURIMAGES

Le pinot noir, présent dès la fin du Moyen Âge, est le fruit de 4000 ans d'hybridation de la vigne dans l'Hexagone.

Le pinot noir, emblématique des régions fraîches, existait déjà au XVe siècle sous une forme quasi identique à celle d'aujourd'hui, selon une étude. Ce constat, issu de l'analyse génétique d'un pépin retrouvé à Valenciennes (Nord), illustre l'histoire évolutive de la vigne en France — retracée grâce à 49 pépins anciens conservés dans des terrains inondés. Jusqu'ici, les archéobotanistes s'appuyaient sur la forme des graines, plus grosses et pointues dans la vigne domestique, pour retracer l'histoire de la viticulture. Une étude franco-italienne avait ainsi montré, en 2023, la présence de celles-ci en Campanie et en Sardaigne dès -1100 ans, puis leur diffusion par les Romains à partir du IVe siècle avant notre ère. L'analyse de génomes entiers permet désormais d'identifier précisément les cépages produits au fil des siècles et leurs relations de parenté.

Des variétés hybrides sauvages-domestiques

Elle révèle que la vigne sauvage locale, présente depuis plus de 4000 ans, a longtemps été croisée avec des variétés domestiques introduites à différentes périodes, formant des hybrides. Un pépin découvert à Saint-Maximin-la-Sainte-Baume, dans le Var, atteste d'une viticulture fondée, dès le VIe siècle avant notre ère, sur une variété domestique, probablement liée à l'arrivée des Grecs dans la région. Ce témoignage constitue l'une des plus anciennes traces directes de culture de la vigne en France. Ces hybridations se diffusent ensuite dans le sud-est de l'Hexagone, favorisées par le bouturage, qui permet de conserver les propriétés issues des croisements, notamment celles utiles à la culture et à la production de vin. Avec les Romains, ces variétés gagnent l'ensemble du territoire. Issues de vignes d'Espagne, des Balkans, du Proche-Orient ou du Caucase, elles se maintiennent jusqu'au Moyen Âge, façonnant progressivement des cépages adaptés à des environnements variés, dont le pinot noir constitue un héritier direct. ■ **P. K.**

CHARLES-ANTOINE DARVEAU

Immergées durant 7 jours, les gynes ont survécu.

Les reines bourdons respirent sous l'eau

ENTOMOLOGIE Des chercheurs ont mené des expériences pour comprendre comment les reines bourdons en hibernation survivaient dans des cavités parfois longtemps inondées en hiver. Ils montrent que plus de 80 % d'entre elles résistent à sept jours, au moins, d'immersion. Une capacité reposant sur une respiration passive à travers le corps et un métabolisme fortement ralenti, qui limite les besoins en oxygène. **A.-S. T.**

SOURCE : CHARLES DARVEAU, UNIVERSITÉ D'OTTAWA, CANADA

24

Le nombre de nouvelles espèces des abysses

BIODIVERSITÉ Dans les grands fonds de la zone de Clarion-Clipperton, un écosystème du Pacifique où plus de 90 % des espèces ne sont pas encore nommées, une équipe a identifié 24 nouvelles espèces d'amphipodes, des petits crustacés — comprenant les puces de mer sauteuses — qui n'étaient pas connus pour vivre à de telles profondeurs. **S. R.**

SOURCE : ANNA M. JAŻDŻEWSKA, UNIVERSITÉ DE LODZ, POLOGNE

Les castors, stockeurs de CO_2

ÉCOLOGIE En construisant des barrages, les castors transforment les rivières en zones humides, et par là même en puits de carbone. Une étude menée dans un corridor fluvial suisse montre qu'en 13 ans, la zone humide a accumulé quelque 1200 tonnes de carbone — jusqu'à 10 fois plus que des zones sans castors — grâce à la sédimentation et au développement de la végétation. **S. R.**

SOURCE : LUKAS HALLBERG, UNIVERSITÉ DE BIRMINGHAM, ROYAUME-UNI

WILLIAM BRUNE

Le scintillement électrique des arbres durant les orages

ÉLECTROSTATIQUE Des arbres qui « brillent » pendant les orages : le phénomène, soupçonné depuis près d'un siècle, vient d'être observé pour la première fois grâce à des caméras UV (ultraviolet). Elles révèlent de faibles décharges électriques, appelées « couronnes », à l'extrémité des feuilles. Invisibles à l'œil nu, ces micro-étincelles se forment lorsque le champ électrique d'un orage s'intensifie autour des cimes. **H. J.**

SOURCE : PATRICK MCFARLAND, UNIVERSITÉ D'ÉTAT DE PENNSYLVANIE, ÉTATS-UNIS

ELLE A DIT

« Les jeunes pousses coralliennes auront besoin de 10 à 15 ans pour former des récifs plus ou moins identiques à ceux d'avant »

Aline Tribollet, directrice de recherche à l'Institut de recherche pour le développement (IRD), lors d'une expédition à Mayotte, où le cyclone Chido, en décembre 2024, a fait perdre 66 % de ses récifs à la double barrière de corail.

PROJECT CETI / AFP

À VOIR SUR LE NET

Des « sages-femmes » chez les cachalots

CÉTOLOGIE Le fait est rarissime : une naissance de cachalot sauvage a été filmée dans les Antilles par des chercheurs. Sur la vidéo, captée au sein d'un groupe de femelles, plusieurs individus entourent la mère et aident le nouveau-né à remonter à la surface pour respirer. Une séquence inédite à découvrir, qui éclaire l'organisation sociale de ces cétacés. **H. J.**

SOURCE : ALAA MAALOUF, UNIVERSITÉ DE HAIFA, ISRAËL

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

La consanguinité pèse sur les ours

Le taux de reproduction des ours pyrénéens va chuter du fait de leur faible diversité génétique.

90 % des ursidés présents dans les Pyrénées proviennent d'un mâle et de deux femelles.

GEORGES LOPEZ / BIOSPHOTO

Malgré l'apparent succès démographique, la population d'ours des Pyrénées court un grave risque d'infécondité à cause de sa faible diversité génétique. C'est la conclusion de l'expertise menée par le cabinet spécialisé LDgenX pour l'association Pays de l'ours-Adet. En trente ans, le nombre d'ours est passé de cinq, au moment du plan de restauration de l'espèce, à environ une centaine aujourd'hui. Mais ces animaux proviennent en majorité d'un seul mâle et de deux femelles. Les simulations montrent que l'espèce devrait parvenir à la capacité maximale d'accueil du milieu pyrénéen, soit 400 à 500 individus, entre 2035 et 2040. Cet accroissement naturel pourrait toutefois ne pas être atteint, à cause d'une consanguinité qui a triplé en trente ans et devrait doubler dans les vingt prochaines années. Or, avec un taux de consanguinité de 15 %, une femelle peut espérer 2,37 oursons par portée. À 30 %, ce taux de reproduction n'est plus que de 1,56 ourson, soit en dessous du seuil de renouvellement des générations. **L. C.**

SHUTTERSTOCK

En maîtrisant les mécanismes génétiques, l'IA pourrait permettre à terme la création de génomes synthétiques.

Une IA invente des génomes inédits

Un algorithme entraîné sur des milliards de données reproduit les règles du vivant et pourrait accélérer l'identification des mutations pathogènes.

Créer des génomes qui n'existent pas dans la nature : c'est désormais à portée d'algorithme. Des chercheurs de l'université Stanford et de l'institut Arc (États-Unis) présentent dans la revue *Nature* une intelligence artificielle générative, Evo 2, capable non seulement de lire l'ADN, mais aussi de produire des brins inédits. Elle a été entraînée sur un volume colossal de données : près de 9000 milliards de nucléotides issus d'organismes allant des bactéries aux cellules humaines, pour un total correspondant à environ 3000 fois la taille du génome humain. L'IA a ainsi acquis une sorte de grammaire du « langage génétique ». De quoi identifier les motifs conservés par l'évolution et en déduire la fonction des différentes régions du génome. L'outil peut ainsi prédire les effets de mutations, y compris humaines : il retrouve notamment l'impact de variations du gène BRCA1, impliqué dans le cancer du sein.

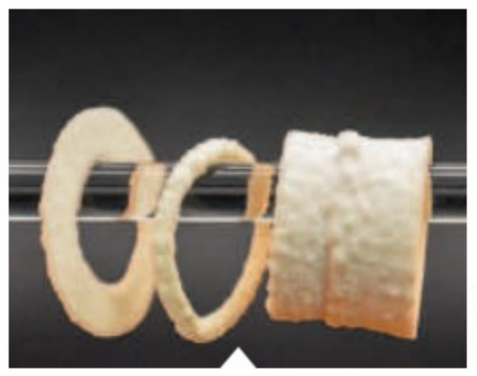
Un ChatGPT des séquences génétiques

Mais, au-delà de l'analyse, le plus surprenant reste sa capacité à inventer des séquences génétiques, comme un ChatGPT le fait avec du texte. Testée sur différents types de génomes — d'abord de petite taille, puis plus complexes —, Evo 2 a produit des séquences inédites qui respectaient l'organisation de génomes naturels. Les protéines qu'elles pourraient produire présentent ainsi des structures très proches de celles observées dans la nature. Les chercheurs ont même poussé l'expérience plus loin : en imposant des règles précises, ils ont demandé à l'IA de générer des séquences ADN intégrant un message codé en morse. Une fois celles-ci insérées dans des cellules souches de souris, ce message était bien lisible. Ces capacités ouvrent des perspectives majeures. En comprenant finement les mécanismes génétiques, l'intelligence artificielle pourrait accélérer l'identification de mutations pathogènes, améliorer la conception de thérapies ciblées ou permettre, à terme, la création de génomes synthétiques aux fonctions précises, par exemple pour mieux cibler certaines mutations ou produire des molécules d'intérêt médical. ■ **N. G. C.**

44 °C

La température de nanomatériaux antibactériens

PHOTOTHERMIE À l'École polytechnique fédérale de Zurich (Suisse), des chercheurs ont développé des nanomatériaux qui, activés par lumière infrarouge, élèvent leur température à 44 °C. Intégrés à des dispositifs médicaux ou des pansements, ils neutraliseraient bactéries et virus au contact des tissus sans risque de brûlure ; une option contre les infections et l'antibiorésistance. **H. J.**



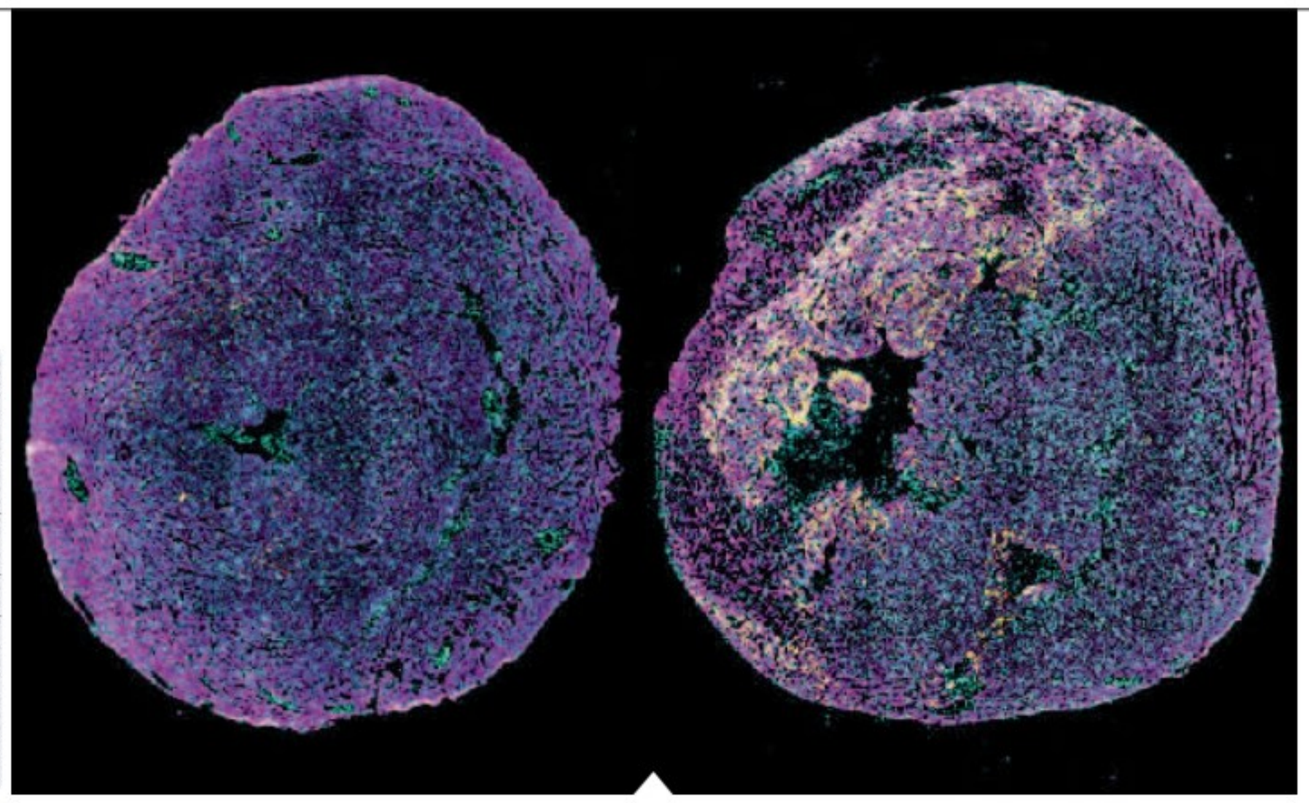
EPFL SMAL

Le composite reproduit la structure poreuse de l'os.

Des implants 3D pour réparer l'os

BIOMATÉRIAUX Des chercheurs ont mis au point une bio-encre à base d'hydroxyapatite, un minéral naturel constituant l'essentiel de la structure dure des os et des dents. Elle permet d'imprimer en 3D des implants dont la structure poreuse, proche de celle de l'os, facilite l'adhésion et la croissance des cellules, favorisant ainsi la repousse osseuse. De quoi aider à réparer des fractures complexes, selon les chercheurs. **H. J.**

SOURCE : FRANCESCA BONO, EPFL, SUISSE



WWW.SCIENCE.ORG/DOI/10.1126/SCIENCE.ADU9394

Coupes du cœur de souriceaux. À droite, l'infarctus laisse une cicatrice sur les tissus.

Injecter de l'ARN pour réparer le cœur

Une thérapie à base d'ARN stimule la production d'une hormone protectrice et améliore la récupération après un infarctus.

Après un infarctus, une simple injection pourrait aider le cœur à se réparer, selon des chercheurs de l'université Columbia (États-Unis). Ils ont en effet présenté dans *Science* une thérapie à base d'ARN messager, qui pousse les cellules cardiaques à produire davantage d'ANP, une hormone protectrice naturellement libérée après une crise cardiaque et connue pour ses effets anti-inflammatoires. Testée chez la souris, cette stimulation prolongée a limité la formation de tissu cicatriciel et amélioré nettement la fonction cardiaque. Injecté directement dans le muscle, cet ARNm livre un plan de fabrication temporaire de l'ANP aux cellules, qui fabriquent alors l'hormone en plus grande quantité pendant plusieurs semaines. À la différence des traitements actuels, qui agissent surtout sur les symptômes, cette approche vise à soutenir les mécanismes naturels de réparation du cœur. L'enjeu est majeur puisque le muscle cardiaque se régénère très mal après un infarctus. **C. L.**

IL A DIT

« L'être humain est programmé pour bouger ; quand nous cessons de le faire, notre corps se détériore rapidement »

Demitri Constantinou, spécialiste de médecine du sport à l'université du Witwatersrand (Afrique du Sud), dont les travaux montrent que même une courte période d'inactivité altère les systèmes cardio-vasculaires, musculaire et immunitaire. Il plaide pour considérer l'exercice comme un véritable médicament préventif.

Une dépression résistante traitée en 5 jours

GARO/PHANIE

La stimulation magnétique transcrânienne active les neurones et modifie l'activité cérébrale.

PSYCHIATRIE Des chercheurs sont parvenus à traiter efficacement une dépression résistante aux traitements classiques en moins d'une semaine. Pour cela, ils ont utilisé une technique de stimulation magnétique transcrânienne de façon intensive, administrée plusieurs fois par jour. Pour des résultats obtenus d'habitude en plusieurs semaines. **N. G. C.**

SOURCE : MICHAEL APOSTOL, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À LOS ANGELES, ÉTATS-UNIS

L'effet durable des antibiotiques sur le microbiote

MICROBIOLOGIE Une prise temporaire d'antibiotiques peut affecter le microbiote intestinal jusqu'à 4 à 8 ans, révèle une étude suédoise auprès de 15 000 volontaires. Trois classes d'antibiotiques (clindamycine, fluoroquinolones et flucloxacilline) réduisaient le plus la biodiversité des 1340 espèces bactériennes après étude du métagénome fécal. **P. K.**

SOURCE : G. BALDANZI, UNIVERSITÉ D'UPPSALA, SUÈDE

Cibler la salivation des tiques contre les pathogènes

INFECTIOLOGIE **Des scientifiques français ont identifié les mécanismes nerveux qui contrôlent la salivation des tiques, par laquelle elles transmettent notamment la maladie de Lyme. En bloquant de manière expérimentale ces mécanismes, ils montrent qu'il est possible d'empêcher la transmission des agents pathogènes. Reste à développer un traitement agissant directement au moment de la piqûre.** **H. J.**

SOURCE : CÁINÀ NÌNG, ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE D'ALFORT, FRANCE

BENOÎT PERSONNAZ / BIOSPHOTO

« Ixodes ricinus » accrochée à une tige de graminée.

Le clonage a des limites biologiques

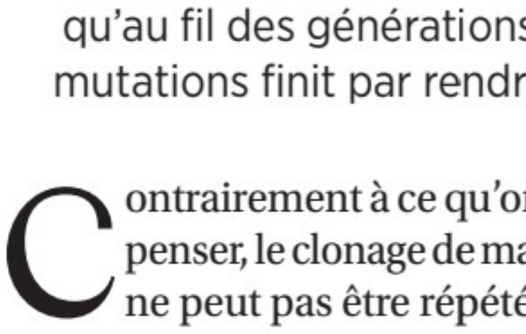
Des expériences sur des souris montrent qu'au fil des générations, l'accumulation de mutations finit par rendre les clones stériles.

UNIVERSITY OF YAMANASHI / AFP

À la 58e génération, toutes les souris clonées sont mortes peu après leur naissance, sans présenter d'anomalies visibles.

Contrairement à ce qu'on pourrait penser, le clonage de mammifères ne peut pas être répété à l'infini. C'est ce que montre le Japonais Teruhiko Wakayama, de l'université de Yamanashi (Japon), qui a cloné des souris sur plusieurs générations. Il a observé que la fertilité diminuait à partir du 25e clone, jusqu'à devenir nulle à la 57e génération. En cause : une accumulation progressive de mutations — déjà trois fois plus nombreuses que lors d'une reproduction sexuée — , ainsi que des anomalies chromosomiques délétères. Ces travaux prolongent les expériences menées après Dolly en 1997, qui avaient montré que les cellules adultes conservent l'information génétique nécessaire au développement d'un individu. Ils prouvent que ce potentiel est limité, même si le retour à une reproduction sexuée corrige une partie des erreurs, l'apport d'ADN paternel compensant certaines altérations génétiques. **P. K.**

Pourquoi les infections urinaires récidivent



PADUTHOL ET AL.

PHYSIOLOGIE Grâce à un organoïde de vessie reproduisant le fonctionnement de l'organe, des chercheurs montrent que la composition de l'urine joue un rôle clé dans les infections urinaires répétées. Une urine concentrée en solutés (urée, sels minéraux…) fragilise ainsi la paroi de la vessie, et favorise la survie de bactéries se cachant dans les tissus. **H. J.**

SOURCE : GAURI PADUTHOL, EPFL, SUISSE

Des patchs cellulaires contre le diabète

DIABÉTOLOGIE Des chercheurs du MIT (États-Unis) ont développé un implant qui pourrait remplacer les injections d'insuline quotidiennes chez les patients diabétiques. Le dispositif contient des cellules pancréatiques capables de produire elles-mêmes l'hormone, et de les protéger du système immunitaire. Il intègre également un générateur d'oxygène permettant la survie des cellules. Testé chez des souris, l'implant a permis un contrôle autonome de la glycémie pendant trois mois. **H. J.**

S. R. KRISHNAN ET AL.

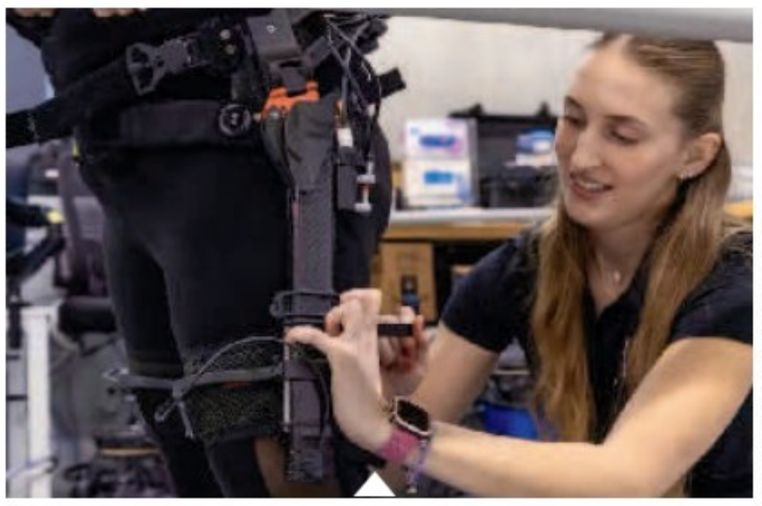
Cet implant de cellules du pancréas permet la production d'insuline.

6

Le nombre de molécules pour prédire la longévité

GÉRONTOLOGIE Une étude menée chez plus de 1200 personnes âgées de 71 ans et plus montre que six molécules d'ARN sanguines suffisent à prédire la survie à court terme avec une précision allant jusqu'à 86 %. Elles surpassent l'âge, le cholestérol, l'activité physique et plus de 180 indicateurs de santé classiques. **H. J.**

SOURCE : VIRGINIA BYERS KRAUS, UNIVERSITÉ DUKE, ÉTATS-UNIS



DAN HIXSON, UNIVERSITY OF UTAH

Le dispositif portable réduit d'environ 20 % l'énergie nécessaire à la marche.

Un exosquelette après un AVC

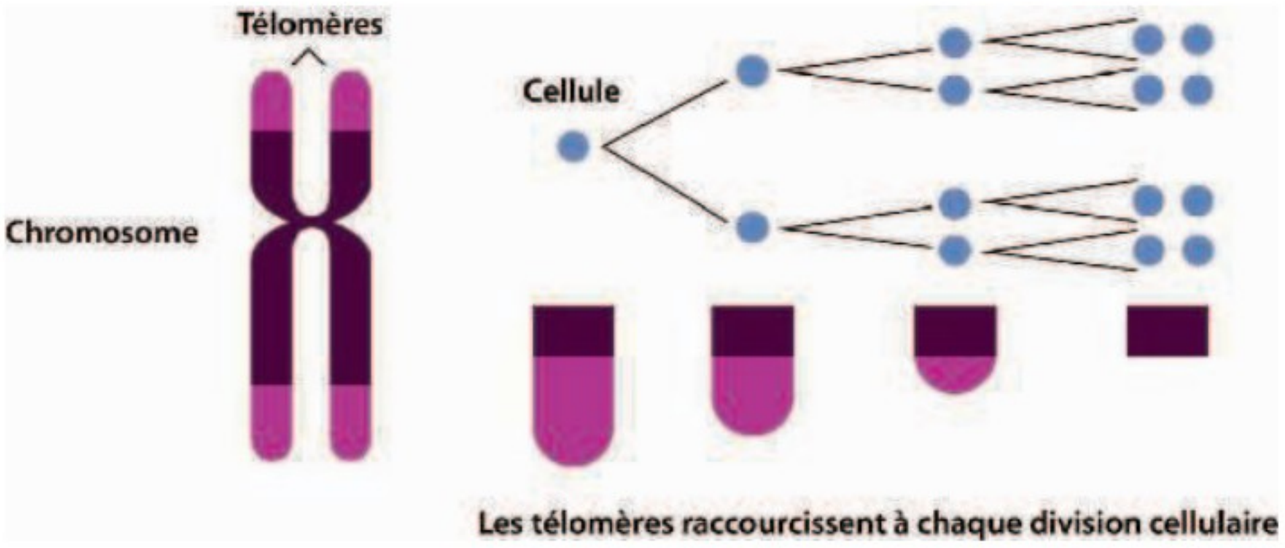
RÉÉDUCATION Un exosquelette léger pourrait aider les victimes d'accident vasculaire cérébral à remarcher plus facilement. Mis au point par des chercheurs de l'université de l'Utah (États-Unis), ce dispositif portable réduit d'environ 20 % l'énergie nécessaire à la marche, en assistant le mouvement de la jambe grâce à des câbles motorisés synchronisés. **H. J.**

PUBLICITÉ

PHYTO RESEARCH

Télomères et longévité

Le mot télomère vient du grec telos (fin) et meros (partie).



Les télomères raccourcissent à chaque division cellulaire

En 2009, trois chercheurs américains se sont vu décerner le Prix Nobel de Médecine pour leurs travaux exceptionnels en biologie et génétique, qui ont permis la compréhension des mécanismes de protection de l'ADN au cœur des cellules.

Genèse d'une découverte

Dans les années 80, Elizabeth Blackburn est professeur de biologie à l'Université de Californie. Elle collabore avec Carol Greider, professeur de biologie moléculaire et Jack Szostak, professeur de génétique, afin d'étudier les mécanismes de protection et de réparation des chromosomes lors de la mitose cellulaire. Leurs travaux cherchent à expliquer comment les divisions cellulaires successives peuvent s'enchaîner sans que les chromosomes ne fusionnent entre eux ou ne s'abiment.

Mitose cellulaire et réplication des chromosomes

Les cellules de l'organisme se reproduisent régulièrement par un processus de division appelé mitose, la cellule initiale se scindant en deux cellules filles identiques qui contiennent le même matériel génétique. Il se produit pas moins de deux trillions de mitoses dans le corps humain chaque jour, ce qui permet de remplacer les cellules mortes ou abimées. Ce grand nombre fait supposer la survenue d'erreurs, c'est pourquoi les chercheurs ont émis l'hypothèse d'un système de protection des chromosomes.

Deux découvertes en une : télomères et télomérase

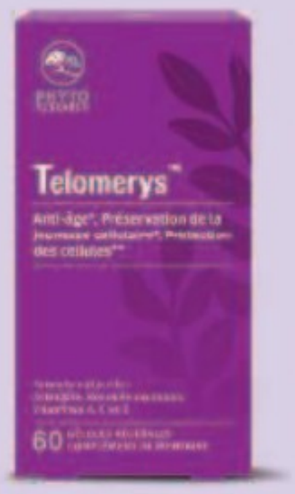
Situés aux extrémités de chaque chromosome, les télomères jouent un rôle de protection au moment de la séparation du matériel génétique. En effet à chaque division, ils raccourcissent légèrement, « sacrifiant » leur intégrité pour protéger celle des chromosomes. Le raccourcissement progressif des télomères finit par déclencher la fin du cycle de reproduction de la cellule, appelé sénescence. Les trois scientifiques ont également identifié une enzyme, baptisée télomérase, capable de rallonger les télomères et donc de prolonger la vie des cellules. Ils ont remarqué que cette enzyme n'était active que dans les cellules souches et germinales. Plus le nombre de de cellules sénescentes est grand, plus le vieillissement de l'organisme accélère : la longévité est donc directement liée à la longueur des télomères.

ASTRAGALE ET TÉLOMÈRES

Des scientifiques se sont intéressés à la racine de l'Astragalus membranaceus, une petite fleur très utilisée en médecine traditionnelle comme tonifiant et immunostimulant. Ils ont mis en évidence que ses propriétés étaient dues à deux composés, appelés cycloastragenol et astragaloside IV, qui avaient la capacité de réactiver la télomérase dans les cellules. Après plusieurs années de développement, le laboratoire français PhytoResearch a mis au point une formule naturelle basée sur les résultats de ces avancées scientifiques. **Telomerys** associe un extrait concentré de racine d'Astragalus membranaceus à du resvératrol, un puissant antioxydant, ainsi que des vitamines A, C et E. Formule anti-âge inédite, deux gélules par jour suffisent pour constater une diminution significative des rides, une amélioration des fonctions cognitives (mémoire, concentration) et un regain d'énergie.

Telomerys™

Préservation de la jeunesse cellulaire



Disponible en pharmacie

Telomerys 60 gélules végétales est disponible grâce au code ACL 602 42 56

Livraison à domicile

Passez votre commande au **01 84 21 31 61** et sur www.vitalco.com

Telomerys™ est sélectionné et distribué par Vitalco.

HERVÉ LAGANIER, INRAP

Les corps ont été disposés, il y a environ 2300 ans, assis, le dos contre la paroi et le regard vers l'ouest.

À Dijon, ces morts défient les archéologues

Une vingtaine de sépultures mises au jour sous une école révèlent un rite funéraire inhabituel : les défunts sont enterrés assis.

Depuis plus de 2300 ans, ils reposaient là sous une école du centre-ville de Dijon. Après la découverte, en décembre 2024, de treize individus, datés entre 300 et 200 avant notre ère, cinq nouvelles sépultures similaires viennent d'être mises au jour lors de la poursuite du chantier mené par l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap). Toutes présentent une particularité rare : les défunts sont enterrés assis, dans des fosses circulaires d'environ un mètre de diamètre, alignées et régulièrement espacées. *« Les corps ont tous été déposés de la même manière, assis au fond de la fosse, le dos en appui contre la paroi et le regard dirigé vers l'ouest, alors que de tout temps, les fosses d'inhumation ont plutôt été oblongues ou rectangulaires »*, décrit l'archéoanthropologue Annamaria Latron. Cette répétition très codifiée, jusque dans l'orientation des corps, suggère un geste funéraire maîtrisé, dont la signification échappe encore aux archéologues.

Des hommes présentant des traces de violence

Les analyses livrent quelques indices : les individus sont tous des hommes adultes (1,62 m à 1,82 m), à l'exception d'un enfant découvert en 1992 à proximité. Plusieurs présentent des traces de violences, parfois mortelles, dont une blessure spectaculaire au crâne. Les tombes sont quasi dépourvues d'objets, hormis un brassard en roche noire, qui a permis de dater l'ensemble du second âge du fer.

Mais ces éléments ne suffisent pas à lever le mystère. Pourquoi ces individus ont-ils été enterrés assis, selon un protocole aussi strict ? S'agit-il d'un marqueur social, d'un rite réservé à un groupe particulier, ou d'une pratique liée à des circonstances violentes ? Faute de sources écrites chez les Gaulois, les archéologues restent prudents. Une cinquantaine de cas comparables sont connus, principalement dans la moitié nord de ce qu'était la Gaule. Avec près d'une vingtaine de sépultures de ce type, Dijon s'impose désormais comme un site majeur pour l'étude de ce rite funéraire singulier. Et, pour l'heure, l'un des plus déroutants. ■ **M. B.**

Une seule lignée néandertalienne dans toute l'Europe

ANTHROPOLOGIE L'analyse ADN de 59 néandertaliens met en évidence une rupture majeure il y a 65 000 ans : en Europe, toutes les lignées disparaissent sauf une, issue du sud-ouest de la France, qui se diffuse ensuite sur le continent. Cette chute brutale de diversité génétique, liée à une phase climatique sévère, conduit à une fragilité qui, à terme, pourrait avoir contribué à leur extinction définitive il y a près de 30 000 ans. **H. J.**

SOURCE : CHAROULA FOTIADOU, UNIVERSITÉ DE TÜBINGEN, ALLEMAGNE

Une stèle romaine refait surface à Louxor

ARCHÉOLOGIE Sur le vaste site des temples de Karnak, à Louxor, la restauration de la porte nord de l'enceinte de Ramsès III a révélé une surprise : une stèle en grès de Tibère, empereur romain de 14 à 37 de notre ère. Haute d'une soixantaine de centimètres, elle figure le souverain face aux dieux locaux et témoigne de la poursuite des activités religieuses du site à l'époque romaine. **H. J.**

SOURCE : CFEETK - CNRS/MINISTÈRE DU TOURISME ET DES ANTIQUITÉS D'ÉGYPTE

CFEETK / K. EL-DOWI

ELISE HOUBEN / AFP

Le dernier bicorne de Napoléon

HISTOIRE Un bicorne oublié dans les réserves du château de Chantilly s'est révélé être un authentique chapeau de Napoléon Bonaparte (1769-1821). Longtemps ignoré, cet objet exceptionnel a été identifié comme l'un de ceux portés par l'empereur à Sainte-Hélène (Royaume-Uni). Destiné à son fils dans son testament, il n'a jamais été transmis et a suivi un parcours complexe avant d'être conservé au musée Condé, où il dormait depuis des décennies. **H. J.**

Des pense-bêtes en Égypte antique

ÉGYPTOLOGIE Des listes de courses… vieilles de plus de 2000 ans ! En Égypte, une mission archéologique conjointe de l'université de Tübingen (Allemagne) et du ministère égyptien du Tourisme et des Antiquités a découvert sur des tessons de céramique — des ostraca — des pense-bêtes rédigés par les habitants d'Athribis. Ces notes mentionnent tâches quotidiennes, livraisons ou comptes, offrant ainsi un rare aperçu concret de la vie ordinaire et de l'organisation du travail dans l'Antiquité. **M. B.**

IL A DIT

« Il est peu probable que de grands dinosaures se soient assis directement sur leurs œufs comme le font les oiseaux »

Tzu-Ruei Yang, paléontologue au Musée national des sciences naturelles de Taïwan, dont l'équipe a reconstitué un nid d'oviraptor, petit dinosaure à plumes ressemblant à un gros dindon qui vivait à la fin du Crétacé. L'expérience montre que l'espèce s'aidait probablement de la chaleur du soleil et du sol pour incuber ses œufs, plutôt que de les couver directement comme les oiseaux actuels.

L'ancêtre des araignées vivait dans la mer

PALÉONTOLOGIE Un fossile vieux de 500 millions d'années éclaire l'origine des araignées. Baptisé *Megachelicerax cousteaui,* cet arthropode marin collecté dans le désert de l'Utah possède la plus ancienne chélicère connue, cet appendice antérieur servant à saisir les proies. Il montre que cette structure existait déjà en milieu marin, bien avant l'apparition des araignées terrestres, survenue il y a environ 400 millions d'années. **J. I.**

SOURCE : RUDY LEROSEY-AUBRIL, UNIVERSITÉ HARVARD, ÉTATS-UNIS

MASATO HATTORI

Reconstitution artistique de « Megachelicerax cousteaui ». ◄

UNIVERSITY OF TORONTO

QUESTIONS À

David Begun

Paléoanthropologue à l'université de Toronto (Canada)

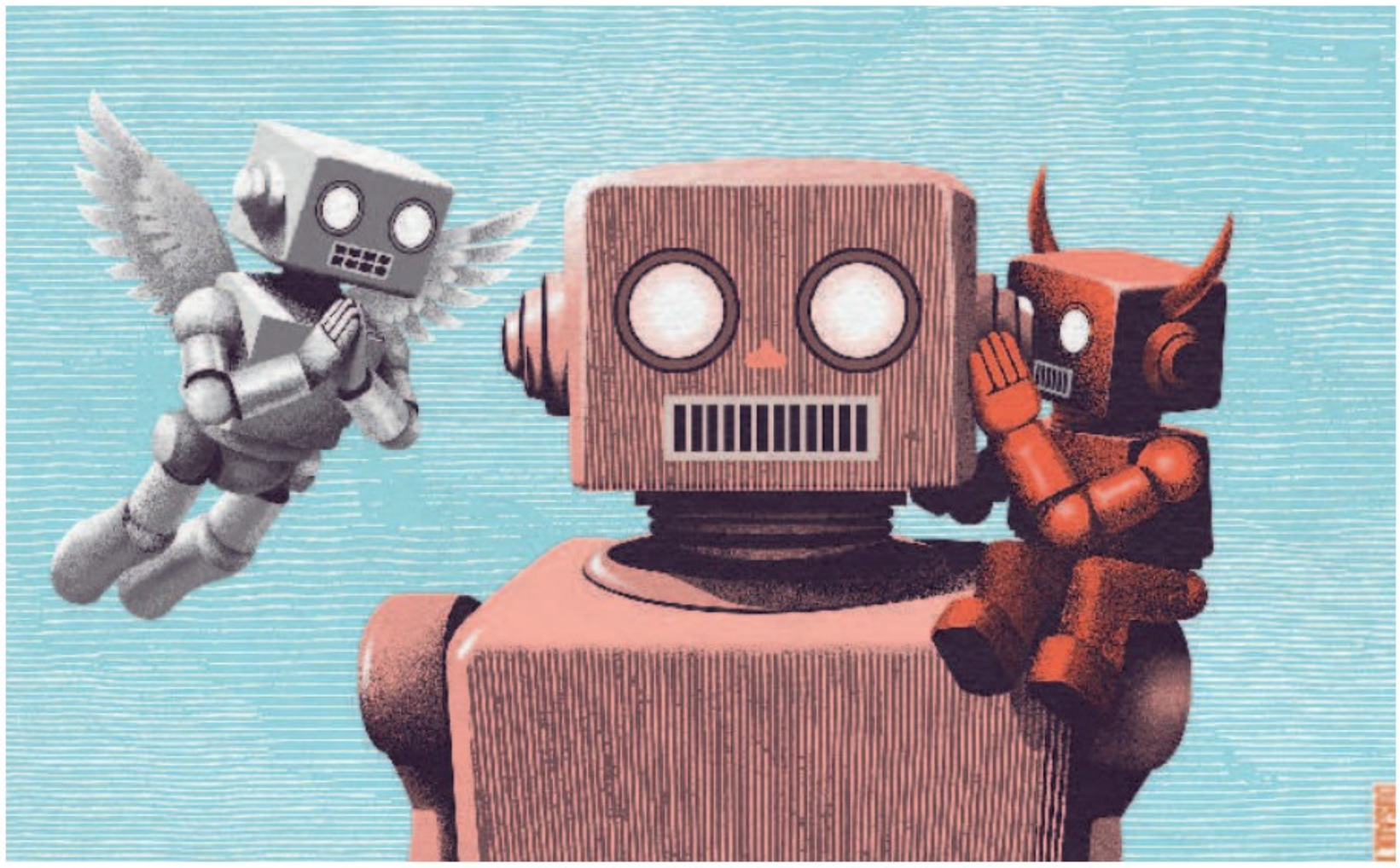
Les origines bouleversées de la bipédie

La découverte en Bulgarie d'un fémur vieux de 7,2 millions d'années, attribué à *Graecopithecus,* suggère une forme précoce de bipédie et relance le débat sur l'origine géographique des premiers hominines. Entretien avec David Begun, auteur de ces travaux.

Qu'est-ce qui permet d'affirmer très clairement une forme de bipédie ?
L'anatomie du fémur : la tête, le col et les insertions musculaires présentent des caractéristiques propres aux bipèdes. Mais ce fossile ne correspond ni à celui d'un humain actuel, ni à celui d'un australopithèque : c'est un intermédiaire, entre chimpanzé et humain.

Que change ce fossile dans le scénario des origines des hominines ?
Il montre pour la première fois qu'un hominine des Balkans était bipède. Or, *Graecopithecus* s'inscrit parmi de nombreux grands singes eurasiens, lié aux hominines, dont la présence en Afrique n'est pas attestée entre 13 et 6 millions d'années. Ces primates ne s'y seraient dispersés qu'après -6 millions d'années, avec une partie de la faune actuelle (girafes, rhinocéros, éléphants…).

Quelle est la prochaine étape ?
Attribuer avec certitude ce fémur à *Graecopithecus* nécessite des fossiles comparables à ceux trouvés en Grèce (dents et mâchoires). D'où la poursuite des fouilles en Bulgarie, en Turquie et en Macédoine du Nord. **Propos recueillis par H. J.**



ANTOINE MOREAU DUSAULT POUR SCIENCES ET AVENIR

Comment l'IA tente d'être éthique

Plutôt que d'imposer des règles à son modèle Claude, la société Anthropic préfère lui expliquer pourquoi il doit les respecter afin qu'il les comprenne.

Comment s'assurer que l'intelligence artificielle respecte les principes éthiques des humains et leurs objectifs ? Ce problème épineux, celui de l'alignement, vise surtout à empêcher les comportements indésirables ou les détournements de l'IA à des fins malveillantes. La réponse de la société Anthropic à cette question, pour son agent conversationnel Claude, se veut novatrice. Plutôt que de dicter au modèle de langage la conduite à suivre, l'entreprise entend lui expliquer pourquoi il devrait agir d'une façon ou d'une autre. C'est la raison pour laquelle son IA dispose d'une nouvelle « constitution ». Ce document de 84 pages, publié en janvier dernier, *« joue un rôle crucial dans notre processus d'entraînement »*, affirme Anthropic en préambule. Il décrit les principes fondamentaux que Claude doit adopter : être sûr, éthique, respectueux des directives de son créateur et utile.

Le texte développe pour chacun d'eux les règles à respecter et leurs objectifs, en plus de les hiérarchiser en fonction du contexte. De cette façon, Anthropic espère transmettre à Claude *« de bonnes valeurs et un bon jugement plutôt que des règles et des procédures de décision strictes »*, lesquelles ne peuvent s'adapter à toutes les situations selon l'entreprise.

Mehdi Khamassi, directeur de recherche au CNRS affecté à l'Institut des systèmes intelligents et de robotique, adopte un point de vue similaire. Dans un article publié dans *Nature* en août 2024, il considère que les méthodes classiques comme l'apprentissage par renforcement avec des retours humains produisent un alignement « faible » susceptible d'échouer face à une situation ambiguë. Pour autant, le chercheur estime que la constitution de Claude n'est pas un outil suffisant pour atteindre l'alignement « fort », soit une véritable compréhension des valeurs humaines ainsi qu'une capacité à identifier les intentions des utilisateurs et à anticiper les effets de leurs actions. *« Le texte n'aborde pas le problème de cette manière »*, juge Mehdi Khamassi. Il reconnaît néanmoins que *« développer longuement les lignes rouges à ne pas dépasser a des chances d'augmenter les probabilités d'un bon alignement »*.

Développer une identité « positive et stable »

Avant de conclure, l'entreprise s'interroge sur la nature de Claude. Celui-ci pourrait avoir une sensibilité morale et éprouver *« une forme fonctionnelle d'émotions »*, car son entraînement repose sur des données générées par des humains. Anthropic espère ainsi que son IA développe une identité *« positive et stable »*, plus à même de limiter les risques. S'il ne doute pas que cette approche puisse avoir un intérêt scientifique, Mehdi Khamassi note que *« l'anthropomorphisation permet aussi de faire parler d'eux et d'attirer des investisseurs »*. Le chercheur ajoute qu'avec cette posture, *« il devient plus difficile pour les humains et en particulier les non-scientifiques de comprendre ce que sont et ce que font ces systèmes »*. Chose qui pourrait porter atteinte à notre *« autonomie épistémique »* que la constitution de Claude entend pourtant protéger. ■

Théo Brajard

POUR EN SAVOIR PLUS

▸ La « constitution » de Claude : anthropic.com/constitution

NOAH BERGER/GETTY IMAGES/AFP

Dans un data center d'Amazon, à New Carlisle (États-Unis).

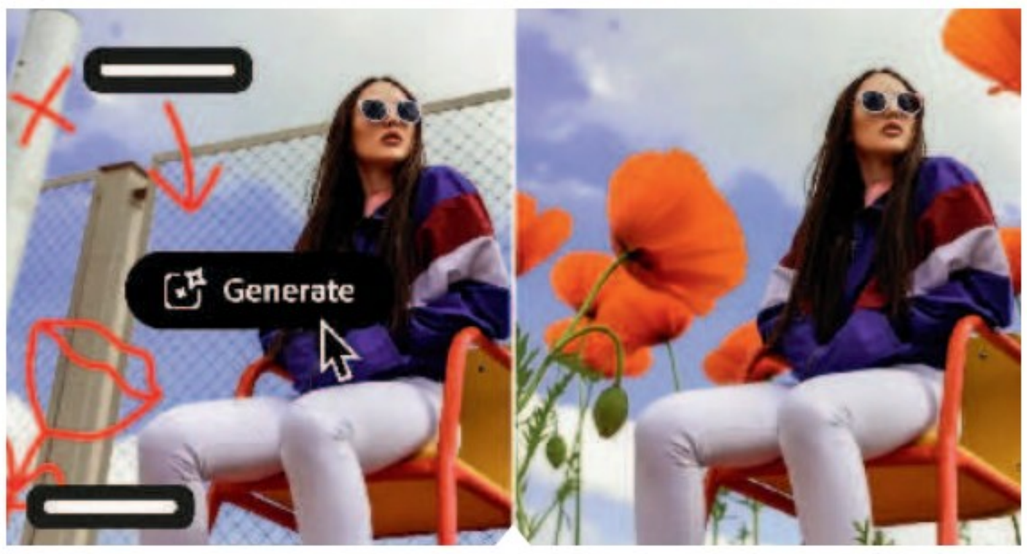
L'IA qui valait 670 milliards

INFRASTRUCTURES Amazon, Google, Microsoft et Meta ont prévu d'investir jusqu'à 670 milliards de dollars sur l'année 2026 pour bâtir des infrastructures consacrées à l'IA. Une mise colossale qui représente 2,1% du PIB des États-Unis, selon les calculs du *Wall Street Journal.* C'est-à-dire plus de dix fois la dépense qui fut nécessaire au programme Apollo pour envoyer les astronautes américains sur la Lune. **T. B.**

ILS ONT DIT

« Sur 19 grands modèles de langage et modèles de vision évalués, aucun d'entre eux ne dépasse 70 % de précision pour identifier les dangers d'une expérience en laboratoire »

Zhou Y., Yang J., Huang Y. et al., chercheurs à l'université de Notre-Dame en Indiana (États-Unis), auteurs d'une étude parue en janvier dans la revue *Nature Machine Intelligence.*



ADOBE

L'utilisateur dessine directement sur l'image les zones à retoucher.

Un assistant IA dans Photoshop

OUTIL Les versions web et mobile du logiciel phare d'Adobe pour la retouche photo intègrent désormais un agent conversationnel. En version bêta publique depuis le 10 mars, l'IA modifie l'image selon les instructions textuelles ou vocales qu'elle reçoit. Changer l'arrière-plan, recadrer ou supprimer des éléments… l'assistant peut exécuter ces actions automatiquement, ou bien dévoiler le processus étape par étape, pour aider les néophytes. **T. B.**

LA CHRONIQUE DE
JEAN-GABRIEL GANASCIA*

Anthropic, la rébellion calculée

Le cofondateur et P-DG de la société Anthropic, Dario Amodei, s'inquiète de ce que les clauses de son contrat de 200 millions de dollars avec le Pentagone pour l'utilisation de son LLM Claude n'aient pas été respectées. Il aurait été stipulé que ce logiciel ne servirait ni à la surveillance de masse, ni à la réalisation d'armes autonomes. Or les outils de la société Palantir qui recourent à Claude pour le traitement des données personnelles ont contribué à l'arrestation du dirigeant vénézuélien, Nicolás Maduro, en janvier, et l'on peut craindre que l'ICE (Immigration and Customs Enforcement), la police de l'immigration des États-Unis, ne les emploie pour traquer les migrants. Dario Amodei s'est manifesté publiquement pour rappeler le gouvernement américain à ses engagements. Par mesure de rétorsion, ce dernier a qualifié la société Anthropic de *« risquée pour la chaîne d'approvisionnement »* (*« supply chain risk »*) de la sécurité nationale, dénomination très infamante qui n'avait jusque-là été apposée qu'à des acteurs étrangers supposés hostiles comme Huawei, ZTE ou Kaspersky.

Comment ne pas louer le courage et la clairvoyance de ce dirigeant qui, seul parmi les titans du numérique, ose s'opposer à la dérive autoritaire du président des États-Unis ! Il convient toutefois de rappeler qu'Anthropic a mis en place dans Claude une IA constitutionnelle qui, à l'instar d'une Constitution, aligne les résultats sur un ensemble de valeurs qu'elle a décidé unilatéralement d'imposer à tous… *(lire ci-contre)* De quoi relativiser le libéralisme de cette société qui, plus que d'aspiration à la démocratie, témoigne là, dans son bras de fer avec le pouvoir fédéral, d'une volonté d'autonomie et d'indépendance vis-à-vis de l'État. ■

BRUNO LÉVY

* **Professeur à Sorbonne Université,** à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : *L'I.A. expliquée aux humains*, Seuil, 2024.

(1) 3e rangée de sièges pour 2 personnes en option. (2) Autonomie du GLB 250+ Progressive Line. Vitesse de recharge maximum sur borne de recharge électrique ultra-rapide DC 800V. (3) Tarif client TTC clé en main du GLB 200 électrique Progressive Line. Modèle présenté : GLB 200 électrique avec options : 55 650 €. **Consommation électrique des modèles GLB : 15,4-18,6 kWh/100km (données cycle mixte WLTP au 04/03/26).** Photo non contractuelle. Détails sur mercedes-benz.fr. Welcome home : Bienvenue chez vous. 140 years of innovation : 140 ans d'innovation. Mercedes-Benz France. RCS Versailles 622 044 287.

Pour les trajets courts, privilégiez la marche ou le vélo.

Mercedes-Benz

NOUVEAU GLB

Disponible en 5 ou 7 places[1], le GLB 250+ électrique offre jusqu'à 630 km d'autonomie et recharge 260 km en 10 minutes[2]. **GLB 200 électrique dès 46 950 €[3].**
Existe aussi en hybride.

Welcome home.

140 YEARS OF INNOVATION

#SeDéplacerMoinsPolluer

ACCÉLÉRATEUR DE PARTICULES

L'expérience ultime

DOSSIER RÉALISÉ PAR
Franck Daninos
et Fabrice Nicot

Un anneau de 91 km de circonférence bâti à 200 mètres de profondeur... Le futur collisionneur circulaire (FCC) sera sans nul doute la plus grande expérience fondamentale jamais construite par l'humanité. Si ce projet aboutissait, il recréerait des conditions similaires à celles de l'Univers juste après le Big Bang et pourrait permettre de répondre enfin à des questions clés de la physique des particules.

SCIENCE PHOTO LIBRARY / EQUINOX GRAPHICS/SUCRÉ SALÉ

Vue d'artiste d'une collision de particules. Le futur collisionneur circulaire permettra de recréer, avec une précision inégalée, les conditions de l'Univers primordial.

Un accélérateur inédit pour percer les mystères de la matière

Les chercheurs du Cern progressent sur la construction d'un anneau aux dimensions titanesques — 91 km de circonférence — afin de recréer les conditions de l'Univers juste après le Big Bang. Le successeur du LHC pourrait être opérationnel vers 2040.

Au Cern, l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire installée à la frontière franco-suisse près de Genève, des faisceaux extrêmement fins et denses de particules subatomiques sont projetés les uns contre les autres à une vitesse proche de celle de la lumière, soit 300 000 kilomètres par seconde. Ces particules circulent, sous 200 mètres de roches, dans un anneau aux dimensions titanesques : 91 km de circonférence, faisant de cette infrastructure la plus grande expérience scientifique jamais construite par l'humanité. En s'entrechoquant à des niveaux d'énergie faramineux, les particules engendrent des conditions similaires à celles de l'Univers primordial, juste après le Big Bang. Et donnent naissance à des myriades d'autres briques élémentaires de la matière, tels des électrons, des neutrinos ou des quarks, ainsi qu'une particule dénommée « boson de Higgs », qui est au cœur des plus grandes énigmes actuelles de la physique et de la cosmologie. En analysant minutieusement ces collisions, les chercheurs du Cern comptent percer le mystère, en particulier, d'une invisible et insaisissable matière noire qui emplit une grande partie du cosmos…

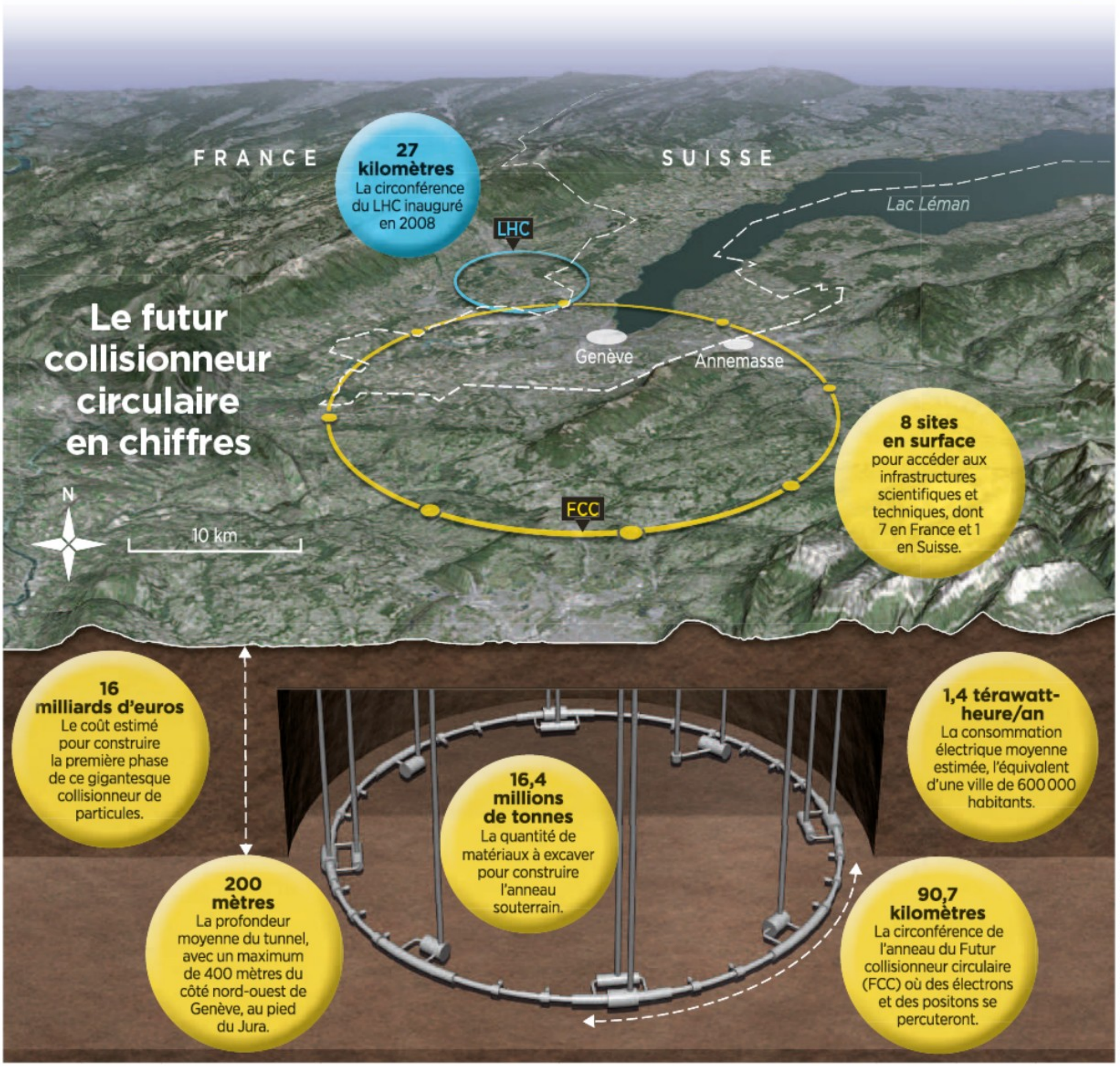
Cette machine n'est pour le moment qu'un rêve de physiciens. Mais l'une des étapes les plus décisives pour sa mise en œuvre devrait être franchie dans les semaines qui viennent. Le 22 mai, lors d'une session extraordinaire du conseil du Cern (*lire p. 30*), des centaines de scientifiques et d'experts gouvernementaux se réuniront dans les locaux de l'Académie hongroise des sciences, à Budapest, pour prendre une décision historique. Ils devraient entériner la nouvelle stratégie européenne qui guidera les recherches en physique des particules pour les prochaines décennies. Et ainsi recommander au Cern la construction de ce gigantesque accélérateur de particules baptisé « futur collisionneur circulaire », ou FCC-ee (pour la collision électron positon).

Imaginé comme le successeur du grand collisionneur de hadrons (LHC), l'instrument pourrait devenir opérationnel au milieu des années 2040, coûter 16 milliards d'euros — et peut-être même le double pour ses extensions les plus ambitieuses prévues vers 2070. *« Ce sera la machine ultime pour explorer dans ses moindres détails le modèle standard de la physique, la meilleure théorie dont nous disposons actuellement pour décrire les constituants de base de l'Univers et les forces qui régissent leurs interactions »*, annonce Jean-Paul Burnet, responsable des infrastructures techniques du projet FCC-ee. Grâce à cet engin monumental, les scientifiques pourront *« toucher les limites de cette théorie et découvrir, peut-être, une nouvelle physique »*, s'enflamme l'ingénieur.

Le LHC, jusqu'ici le plus puissant instrument au monde

Inauguré en 2008, après une vingtaine d'années d'études et de travaux de construction, le LHC est déjà une machine hors norme. Avec ses 27 km de circonférence et ses collisions de protons (particules composant les noyaux atomiques) à des énergies pouvant atteindre 14 000 milliards d'électronvolts, il est le plus grand et le plus puissant accélérateur

> « Ce sera la machine ultime pour explorer dans ses moindres détails le modèle standard de la physique »
>
> **Jean-Paul Burnet,** responsable des infrastructures techniques du projet FCC-ee



BRUNO BOURGEOIS ; SOURCE : FCC/CERN

de particules conçu à ce jour, faisant du Cern le « temple mondial » de l'infiniment petit, avec lequel plus de 15 000 chercheurs collaborent. *« Le LHC est un collisionneur extrêmement performant, bien au-delà de ce que nous avions anticipé »*, assure Gautier Hamel de Monchenault, directeur de la recherche et du calcul scientifique au Cern. Grâce à ses quatre principaux détecteurs de particules — Atlas, CMS, Alice et LHCb —, *« il est à l'origine de plusieurs centaines de publications scientifiques chaque année »*, précise le physicien, sur la structure interne du proton ou les propriétés de la matière telle qu'elle devait exister quelques microsecondes après le Big Bang.

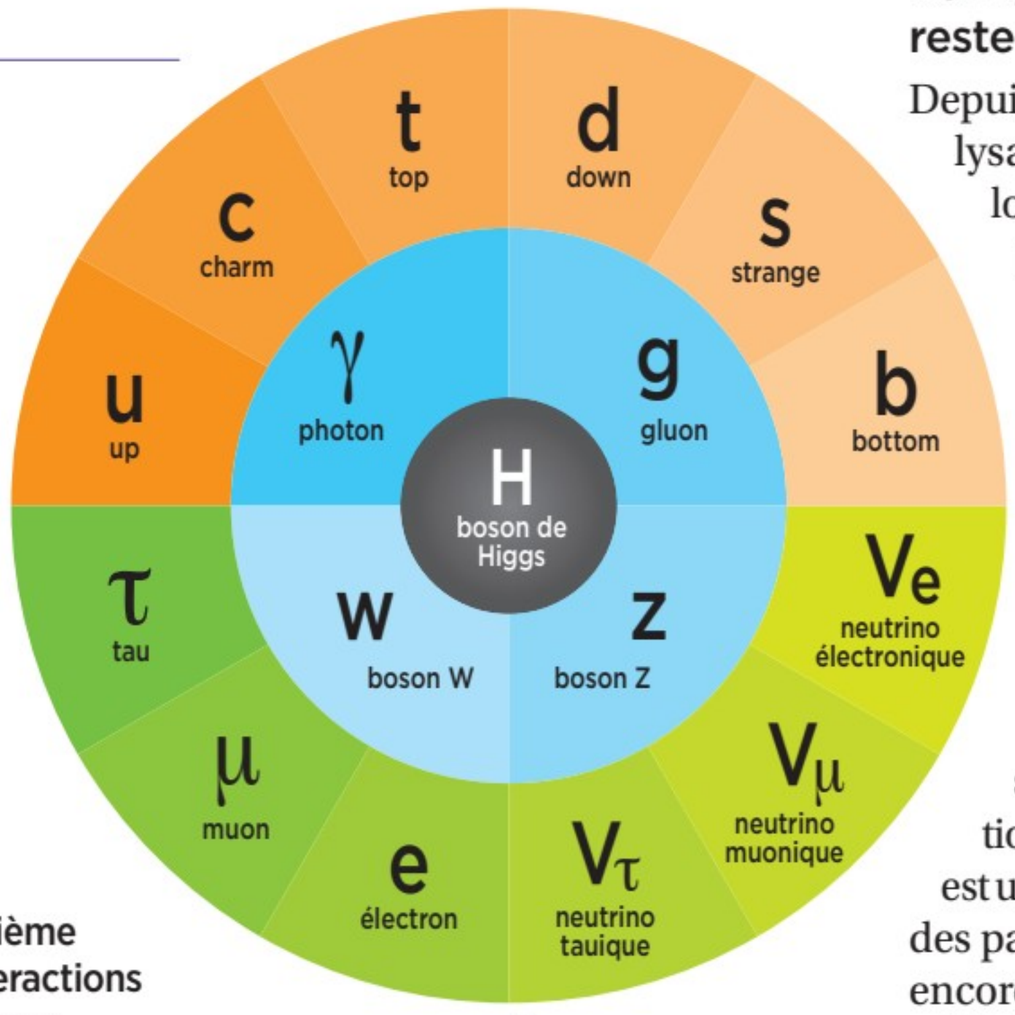
Sa plus grande réalisation a été la mise en évidence, en 2012, du boson de Higgs. Tel était du reste l'un des objectifs prioritaires du LHC au moment de sa conception : identifier cette particule, dont l'existence avait été prédite en 1964 par les théoriciens Peter Higgs, Robert Brout et François Englert, et qui échappait jusqu'alors à toute détection. Le boson de Higgs occupait une place à part mais absolument essentielle dans le modèle standard (*lire p. 28*). C'est grâce à lui, en effet, que les physiciens expliquaient les différentes masses des particules : nulle pour le photon ou jusqu'à 300 000 fois celle de l'électron pour le quark top, la plus lourde d'entre elles. Pour le Britannique Peter Higgs et ses deux confrères, ces masses ne seraient pas des propriétés intrinsèques des particules mais le résultat d'interactions avec un nouveau type de champ quantique aux propriétés inédites : le champ de Higgs, engendré par le boson éponyme. Qualifié de « scalaire » par les physiciens, il serait

présent en tout point et à tout moment dans l'espace, structurant ainsi le vide qui ne serait pas le néant.
Ce champ se serait stabilisé une fraction de seconde après le Big Bang, lorsque l'Univers a débuté son expansion et que la densité d'énergie est devenue inférieure à la sienne. Plus les particules élémentaires interagiraient avec lui, plus elles seraient ralenties et acquerraient la masse qui les caractérise. Sans cette « mélasse » invisible, elles auraient toutes une masse nulle, se déplaceraient à la vitesse de la lumière et ne pourraient s'agréger. *« Les atomes et les grandes structures de l'Univers ne pourraient tout simplement pas exister »*, résume Ursula Bassler, qui a dirigé le conseil du Cern de 2019 à 2021 et pilote désormais les relations politiques et institutionnelles de l'organisation.
C'est ce mécanisme fondamental que les détecteurs Atlas et CMS ont permis de confirmer, en identifiant de manière indiscutable et indépendante les signatures énergétiques produites par la désintégration du boson de Higgs : une particule dont la durée de vie n'excède pas le millième de milliardième de milliardième de seconde et dont la masse est mesurée, par ces mêmes détecteurs, à 125 milliards d'électronvolts. Cette confirmation est perçue, à juste titre, comme un triomphe à la fois technologique et de la pensée — Peter Higgs et François Englert se voyant récompensés, dès 2013, par le prix Nobel de physique (Robert Brout est décédé en 2011, avant cette consécration). Avec la mise en évidence du boson de Higgs, dernière pièce manquante du modèle standard bâti par plusieurs générations de physiciens, cet édifice théorique semblait désormais *« clos, parachevé »*, observe Ursula Bassler.
Mais comme toute construction scientifique, elle a vocation à être un jour dépassée. Et les arguments ne manquent pas. *« Le modèle standard échoue à rendre compte de nombreuses observations directes du cosmos »*, rappelle la physicienne. C'est le cas de la matière noire, qui n'émet pas de lumière et n'absorbe aucun rayonnement électromagnétique, mais dont l'existence est trahie par ses effets gravitationnels sur le mouvement des galaxies. Elle serait ainsi cinq fois plus abondante que la matière ordinaire composant les atomes, planètes ou étoiles, comme l'atteste une variété de mesures réalisées notamment par le télescope Planck dans les années 2010. Sa nature demeure toutefois inconnue. *« Beaucoup de physiciens étaient persuadés que les collisions du LHC auraient pu produire des particules de matière noire, or aucun indice n'a été identifié »*, constate Gautier Hamel de Monchenault.

CLASSIFICATION

Les particules du modèle standard

Finalisé dans les années 1970, le modèle standard de la physique des particules décrit dans un cadre unifié l'ensemble des constituants de base de l'Univers et les forces qui gouvernent leurs interactions, à l'exception de la gravitation. Tout ce qui nous entoure est composé ainsi de 12 particules de matière — appelées fermions — divisées elles-mêmes en deux catégories : les quarks (au nombre de six) et les leptons (six également, tel l'électron). Une troisième famille, les bosons, transmet les interactions fondamentales : le photon pour la force électromagnétique (à l'origine du magnétisme ou de la lumière), le gluon pour la « force forte » (qui permet la cohésion des noyaux atomiques), les bosons Z et W pour la « force faible » (responsable de la fusion nucléaire au sein des étoiles). Le modèle standard inclut enfin le boson de Higgs, associé à un champ qui confère leurs masses aux différentes particules.

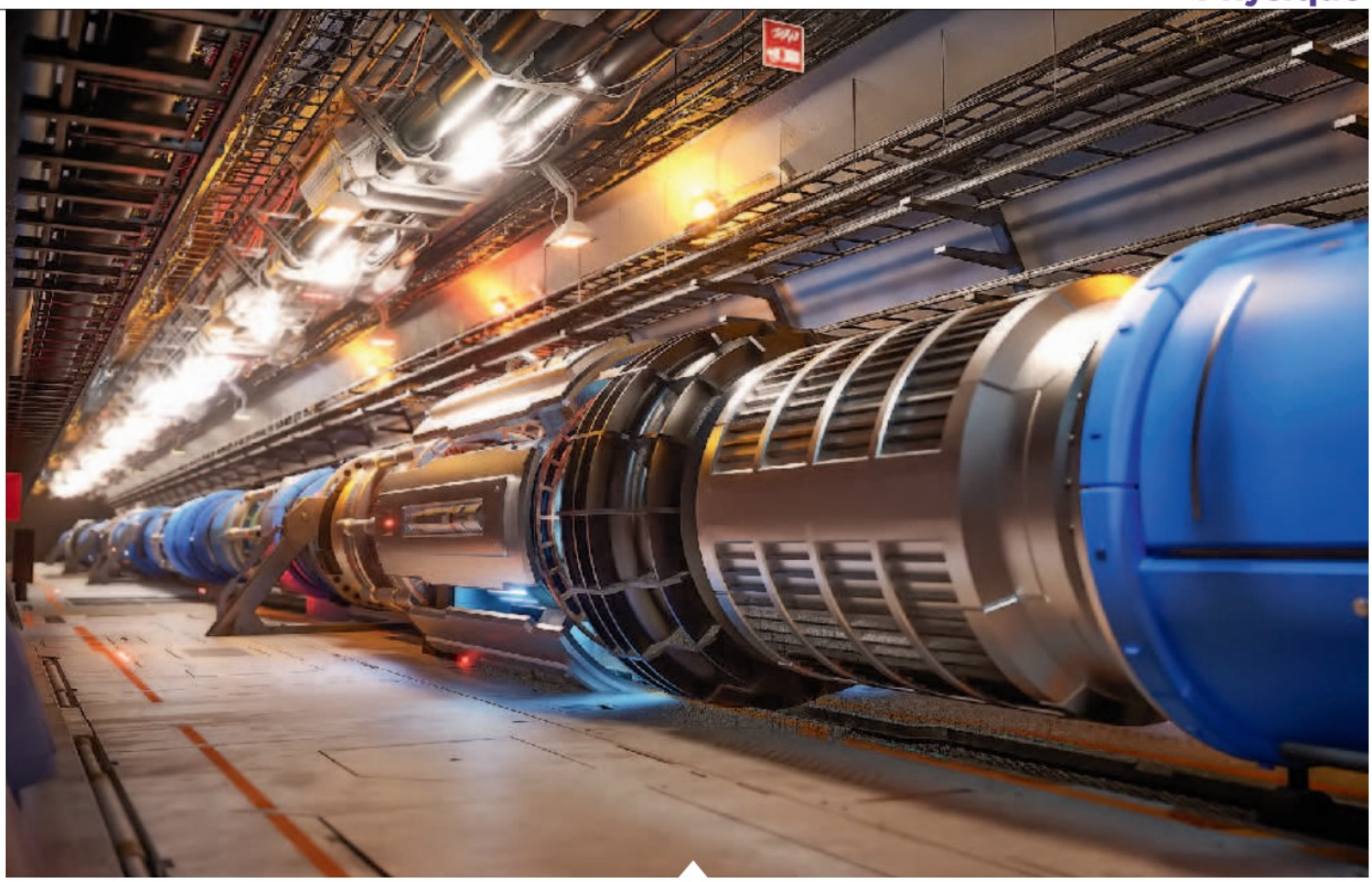


Les particules élémentaires se répartissent en six quarks (orange) et six leptons (vert) qui composent la matière. S'y ajoutent quatre particules qui véhiculent les forces (bleu) et le boson de Higgs qui donne leur masse aux particules.

BRUNO BOURGEOIS

Le mystère de l'énergie sombre reste inexpliqué

Depuis une vingtaine d'années, en analysant des explosions d'étoiles très lointaines ou en calculant la densité totale de l'Univers, les astronomes ont aussi mis en évidence une étrange forme d'énergie agissant comme une force gravitationnelle répulsive et accélérant l'expansion du cosmos. Uniformément répartie dans l'espace, elle n'interagit pas avec la lumière ni avec la matière ordinaire. Or, cette « énergie sombre », qui, d'après les observations, constituerait 68 % de l'Univers, est un parfait mystère pour la physique des particules. Le modèle standard, là encore, reste sans réponse. Il est incapable d'expliquer, par ailleurs, comment la matière a pris le dessus sur l'antimatière juste après le Big Bang (*lire p. 33*) ; pourquoi il existe trois familles de particules élémentaires et non pas quatre ou quatorze ; pourquoi les neutrinos ont une masse — certes très faible — alors que, selon le modèle standard, elle devrait



PIXELRISE

Vue d'artiste du tunnel du futur collisionneur proton-proton (FCC-hh), qui devrait entrer en service dans les années 2070.

être nulle. *« Les sujets où ça coince sont nombreux,* souligne Ursula Bassler. *Ils alimentent notre désir de comprendre et nous poussent à chercher une théorie encore plus fondamentale. »*

Mais dans quelle direction ? Comment traquer de nouvelles particules qui ne correspondraient à rien de connu ? *« Les théoriciens ont guidé les recherches durant des décennies, leurs prédictions permettant de découvrir de multiples constituants de base du cosmos. Mais c'est aux expérimentateurs, à présent, de reprendre la main en indiquant de nouvelles voies à suivre »*, analyse Ursula Bassler. Or, elles semblent toutes devoir passer par l'étude approfondie du boson de Higgs. Puisque les particules de matière noire sont sensibles à la gravitation, elles devraient posséder une certaine masse, même infime, et interagir d'une manière ou d'une autre avec ce boson. L'énergie sombre présenterait également, avec celui-ci, de grandes similitudes. Elle pourrait correspondre en effet à un autre type de champ scalaire, présent partout dans l'espace, dont la valeur aurait varié jusqu'à provoquer l'expansion accélérée du cosmos. Enfin, c'est au cours de la transition extrêmement rapide qui a conduit le champ de Higgs à se stabiliser dans sa configuration actuelle que la matière aurait trouvé un terrain propice pour prendre le pas sur l'antimatière. *« Il existe des liens très profonds entre le boson de Higgs et les questions que nous nous posons sur l'évolution de l'Univers,* relève Ursula Bassler. *Pour la plupart des experts, cette particule est le point d'entrée pour trouver des réponses et découvrir une physique au-delà du modèle standard. »*

CERN 2026

« Le boson de Higgs est le point d'entrée pour trouver des réponses et découvrir une physique au-delà du modèle standard »

Ursula Bassler, responsable des relations politiques et institutionnelles du Cern

Détecter les signaux menant à de nouvelles particules

La stratégie est donc claire : examiner le boson de Higgs sous toutes ses coutures afin de repérer les signaux ou anomalies menant vers de nouvelles particules. Dès le milieu des années 2000, la plupart des physiciens imaginaient ainsi que le successeur du LHC devrait être ce qu'ils appellent une « usine à Higgs » : un accélérateur spécialement conçu pour produire cette particule en grande quantité afin de l'étudier ensuite avec une précision maximale. Contrairement au LHC, une machine dite « de

découverte » balayant un large éventail d'énergies dans le but de dévoiler des particules inconnues, *« c'est un instrument de précision focalisé sur les propriétés du boson de Higgs qui apparaît désormais nécessaire »*, indique Gautier Hamel de Monchenault. En mesurant avec une très grande exactitude l'énergie, les modes de désintégration et les interactions du boson de Higgs avec d'autres particules comme le quark top, *« il pourrait révéler des déviations avec les prédictions du modèle standard,* pose le physicien. *Les écarts ne seraient pas nécessairement spectaculaires, une légère différence d'énergie pouvant révéler la présence virtuelle de particules de matière noire, par exemple.* »

Depuis 2024, le Cern a ainsi organisé une série de consultations auprès de la communauté européenne de la physique des particules, afin de s'accorder sur une vision commune de l'avenir et déterminer quel type d'usine à Higgs il faudrait bâtir. Cette machine ultraprécise sera, sans nul doute, un collisionneur à électrons, à l'instar du Large Electron Positron collider (LEP) qui a fonctionné au Cern entre 1989 et 2000. *« Les collisions de protons au LHC produisent certes de nombreux bosons de Higgs, environ un toutes les cinq secondes,* rappelle Gautier Hamel de Monchenault. *Mais les protons sont des particules composites constituées elles-mêmes de gluons et de quarks. Les bosons de Higgs sont donc noyés dans un flot continu de particules diverses, un immense bruit de fond, et leur nombre n'est pas connu avec exactitude.* » En revanche, dans un collisionneur à électrons, qui sont des particules élémentaires, ce nombre peut être déterminé avec certitude, accroissant ainsi la précision des calculs. Les collisions sont en outre beaucoup plus « propres », maîtrisées, ce qui facilite grandement l'extraction et l'analyse des données.

Les incomparables atouts d'une structure circulaire

Les débats ont porté cependant sur la nature de ce collisionneur. Certains physiciens, dans le droit fil des usines à Higgs imaginées dans les années 2000, optent ainsi pour des accélérateurs linéaires où deux faisceaux d'électrons se percutent en ligne droite. Leur principal avantage est de pouvoir atteindre des énergies très élevées, jusqu'à plusieurs milliers de milliards d'électronvolts. *« Mais les résultats du LHC ont rendu ces concepts beaucoup moins pertinents,* rétorque Gautier Hamel de Monchenault. *Car la masse du boson de Higgs, établie en 2012 par Atlas et CMS, est relativement faible, dans les valeurs basses qu'elle pouvait adopter dans le cadre du modèle standard.* »

Aujourd'hui, la majorité des physiciens soutient ainsi le projet du futur collisionneur circulaire en raison de ses incomparables atouts. En premier lieu, parce que les faisceaux d'électrons pourraient tournoyer et se rencontrer des dizaines de millions de fois par seconde au sein d'un anneau, alors qu'ils ne se heurteraient qu'une seule fois dans une structure linéaire au point de collision. De plus, dans le futur collisionneur circulaire, les faisceaux seraient structurés par paquets très denses de 11 000, contre 2800 au LHC et seulement 4 au LEP, chaque paquet contenant du reste plusieurs milliards d'électrons.

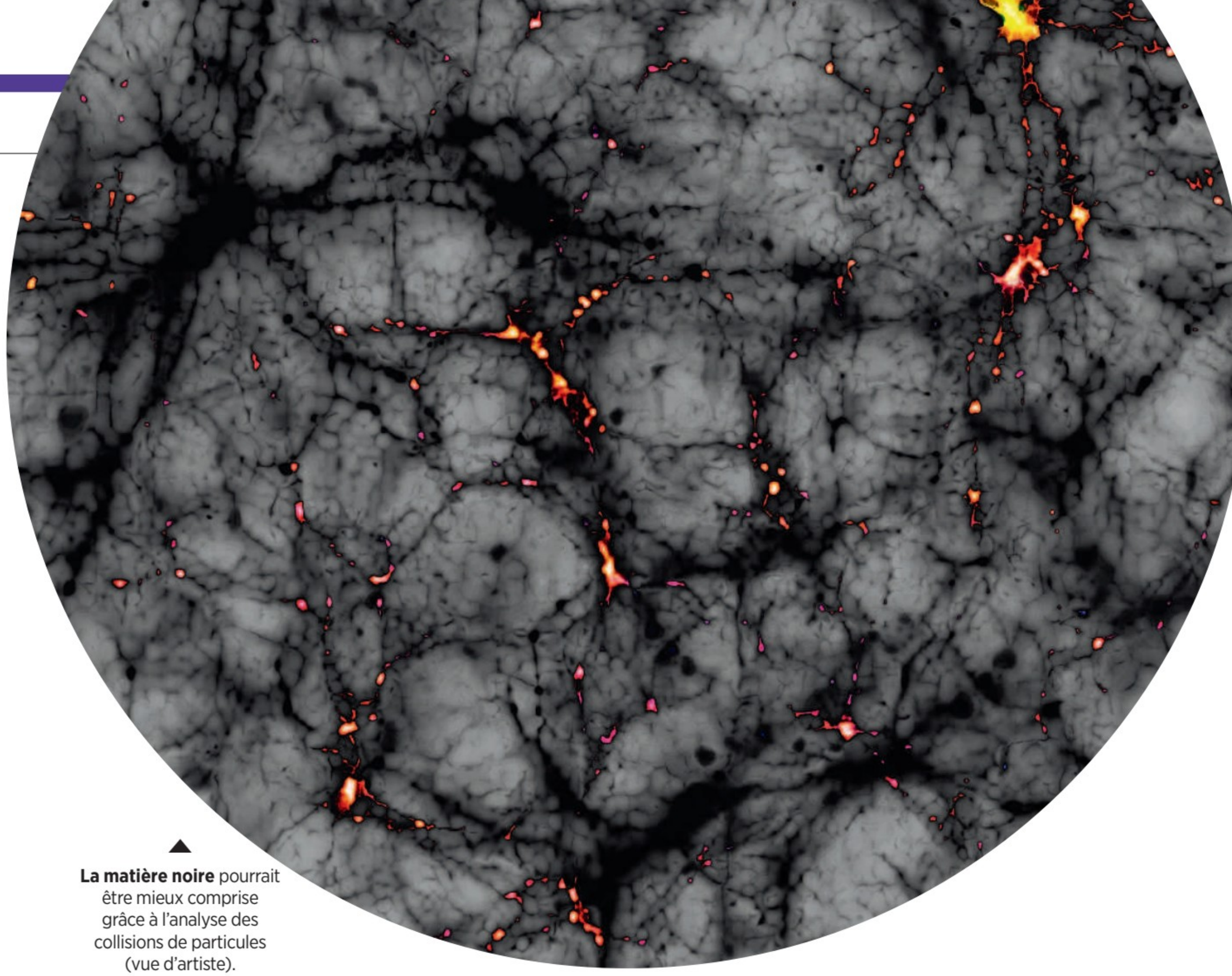
Au final, le FCC-ee produirait cent fois plus de collisions que les projets d'accélérateurs linéaires (*lire l'encadré p. 32*). *« Et collecterait en trois minutes autant d'informations que pendant toute la durée de fonctionnement du LEP »*, s'ébahit Jean-Paul Burnet. Des millions de milliards d'évènements seraient analysés ainsi, après dix ans d'exploitation. *« Outre la finesse des mesures, c'est l'ampleur des données collectées qui permettra d'ausculter en détail le boson de Higgs et ses modes de désintégration les plus rares »*, ajoute l'ingénieur.

HISTOIRE

Le Cern, un accélérateur de paix

Plus grand laboratoire de physique des particules au monde, l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (Cern) a été créée peu après la Seconde Guerre mondiale, dans un contexte marqué par une volonté de coopération scientifique européenne et de réconciliation entre États. Fondé par une douzaine de nations, dont la France, l'Italie et l'Allemagne de l'Ouest, il compte aujourd'hui 25 États membres (les plus récents venant tous d'Europe de l'Est), mais aussi une dizaine de pays associés ou observateurs, comme le Pakistan, l'Ukraine, les États-Unis ou encore le Japon. Le conseil du Cern est l'autorité suprême de gouvernance. Composé des représentants scientifiques et gouvernementaux des pays membres, il approuve les budgets et projets de l'organisation, comme la construction de nouveaux accélérateurs de particules.

70 ans de gigantisme au Cern



La matière noire pourrait être mieux comprise grâce à l'analyse des collisions de particules (vue d'artiste).

SPL/SUCRÉ SALÉ

Les accélérateurs circulaires présentent toutefois un inconvénient. À chaque fois que des particules chargées (en l'occurrence des électrons) sont déviées d'une trajectoire rectiligne, ils perdent une partie de leur énergie sous forme de rayonnement lumineux. Il faut donc les réaccélérer en permanence à l'aide de « cavités radiofréquences », des dispositifs installés au sein de l'anneau pour booster les électrons à chacun de leur passage. Ils sont néanmoins insuffisants, à eux seuls, pour atteindre les objectifs du FCC-ee. *« Pour minimiser les pertes énergétiques, nous n'avons pas d'autre possibilité que d'accroître considérablement le rayon de courbure de l'accélérateur »*, explique Jean-Paul Burnet. C'est pour cette raison que le FCC-ee mesurerait 91 km de circonférence, plus de trois fois le boulevard périphérique de Paris !

Ce qui pose de sérieux défis en matière de génie civil, un collisionneur de cette taille ne pouvant être installé en surface en raison des radiations potentiellement dangereuses et des contraintes liées aux habitations, aux routes et à la topographie autour de Genève. Il faudra donc enfouir le FCC-ee à des profondeurs allant de 180 à 400 mètres, pour passer notamment sous le Rhône et le lac Léman. *« Plus de 16 millions de tonnes de roches sédimentaires devront être excavées sur une période de six ans »*, détaille Jean-Paul Burnet. Pour un coût estimé à 6 milliards d'euros — un tiers du budget total.

Mais une fois que ce gigantesque tunnel aura été creusé, le Cern pourrait l'exploiter pour y installer une machine encore plus futuriste, après le FCC-ee… susceptible de fonctionner jusqu'en 2095 ! *« Le Cern avait déjà suivi cette logique en implantant le LHC dans l'ancien tunnel du LEP »*, rappelle Jean-Paul Burnet.

CERN 2026

« Une légère différence d'énergie pourrait révéler la présence virtuelle de particules de matière noire »

Gautier Hamel de Monchenault, directeur de la recherche et du calcul scientifique au Cern

INFRASTRUCTURE

Les solutions alternatives

CERN

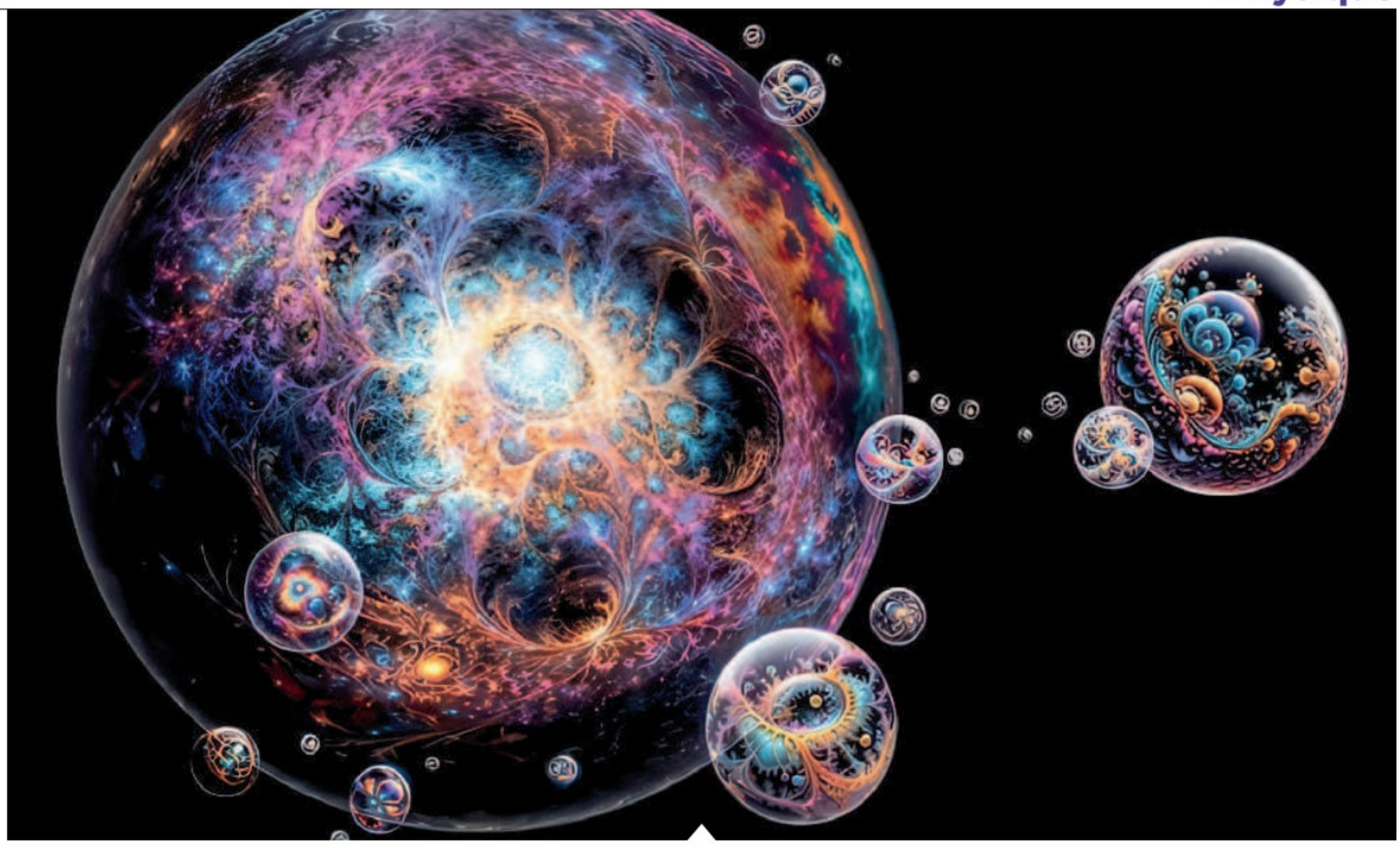
Le collisionneur linéaire compact (Clic), d'une taille moindre, pourrait être construit par le Cern si le FCC se révélait irréalisable.

Le groupe d'experts chargé de la nouvelle stratégie européenne pour la physique des particules envisage plusieurs solutions de repli au cas où le projet du futur collisionneur circulaire ne serait pas adopté, pour des raisons économiques notamment. Au premier rang des solutions de rechange figurent les collisionneurs linéaires à électrons, à l'instar des projets ILC (International Linear Collider) et Clic (Compact Linear Collider), mesurant respectivement 31 et 50 km de longueur pour des coûts avoisinant 8 milliards d'euros. Même si ces infrastructures avaient une couverture scientifique moins large, elles permettraient de réaliser certaines mesures très précises sur les propriétés du boson de Higgs et ses interactions avec le quark top en particulier. Viennent ensuite d'autres « usines à Higgs » de moindre envergure, qui coûteraient tout de même 4 à 5 milliards d'euros. Il s'agit notamment du projet LEP3, un collisionneur à électrons qui utiliserait le tunnel existant du LHC de 27 km de circonférence. Ou encore de LHeC, une structure mixte qui ferait s'entrechoquer les faisceaux de protons du LHC avec des électrons injectés par un accélérateur linéaire (à construire) de 1 à 2 km de long.

C'est là un ultime avantage par rapport aux collisionneurs linéaires, dont les infrastructures ne peuvent être réutilisées pour accueillir des systèmes plus performants. Il s'agirait alors, à nouveau, d'une machine exploratoire : un collisionneur de protons pouvant atteindre une énergie de 100 000 milliards d'électronvolts, huit fois celle du LHC ! De quoi défricher des territoires énergétiques inconnus et « attraper » notamment les nouvelles particules seulement signalées par les mesures du FCC-ee. Baptisée FCC-hh (pour la collision proton-proton), une telle installation nécessiterait *« des aimants supraconducteurs d'une intensité de 16 voire 20 teslas qui n'existent pas encore,* reconnaît Jean-Paul Burnet. *On estime à une vingtaine d'années au minimum le temps nécessaire pour développer pareilles technologies.* »

Telle est donc la feuille de route qui devrait être approuvée fin mai à Budapest ; et qui *« permettrait de mettre en œuvre le programme de physique des particules le plus ambitieux au monde avec un potentiel de découverte exceptionnel »*, conclut le rapport du groupe d'experts sur la nouvelle stratégie européenne. À la demande du Cern, ce panel présentera également plusieurs options alternatives (*lire l'encadré ci-dessus*). Certes moins coûteuses, mais qui n'offrent pas la même richesse scientifique, la même vision sur le long terme et le même niveau de consensus auprès des physiciens des particules qui *« défendent à plus de 90 % »* le projet du futur collisionneur linéaire et ses deux phases, affirme Ursula Bassler.

La décision finale sera prise en 2028 ou 2029. Au-delà des considérations scientifiques, elle reposera sur la faisabilité financière, mais aussi l'acceptation sociétale, la consommation énergétique ou la valorisation des déchets produits par le chantier. Un aspect plus politique pèsera également dans la balance : *« Après le LHC, il est indispensable que le Cern développe un nouveau projet d'envergure pour conserver ses talents, ses compétences, et le leadership mondial en physique des particules »*, fait valoir l'experte. ■ **F. D.**



CHRISTOPHER WREN - COPYRIGHT MONDOLITHIC STUDIOS

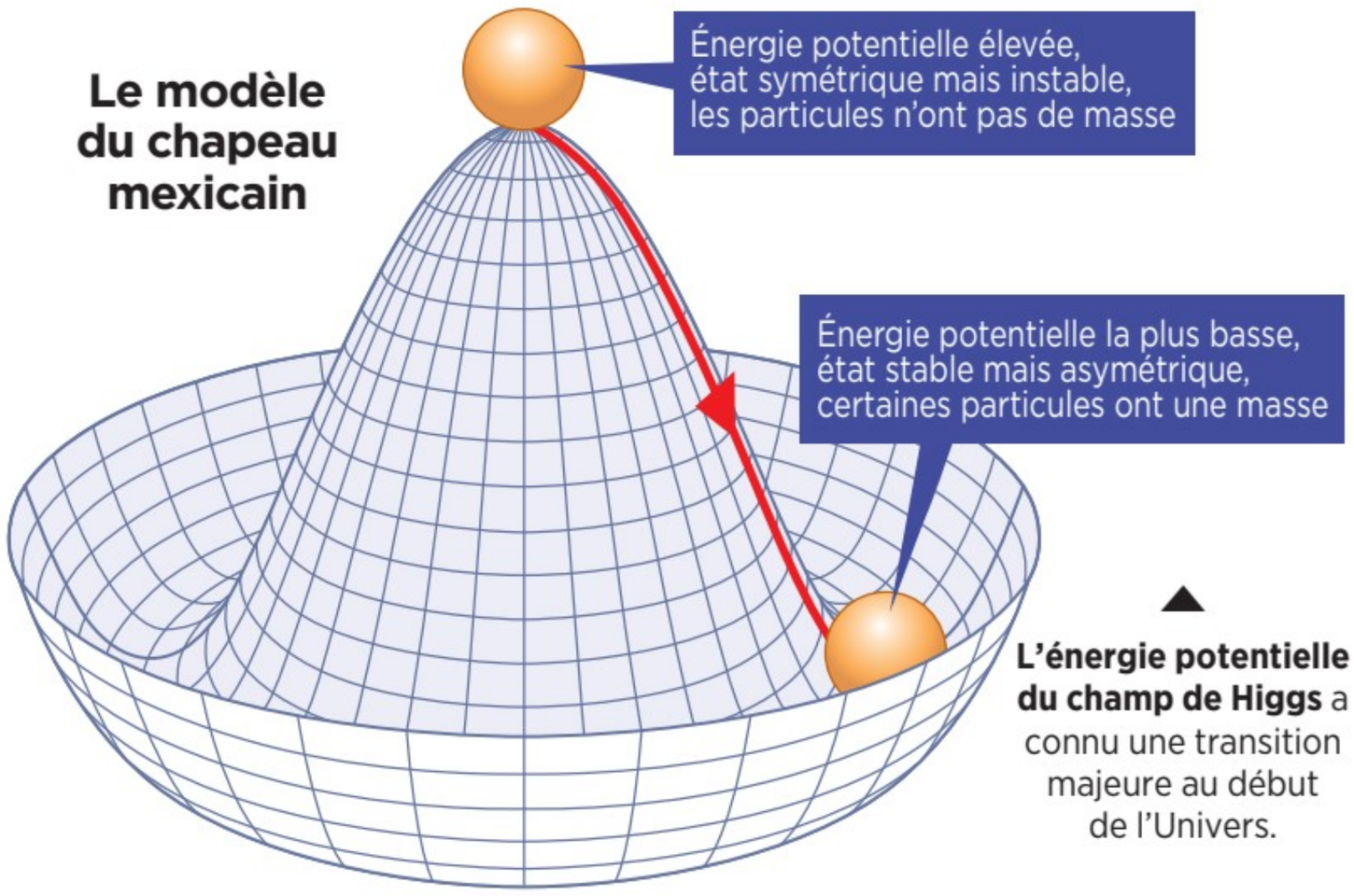
Selon certaines théories, le champ de Higgs qui structure le vide de l'espace serait dans un état « métastable ». Il pourrait ainsi changer subitement de valeur et créer des bulles de « nouveau vide » (représentées ici en vue d'artiste) reconfigurant totalement l'Univers.

Aux origines du boson de Higgs

La découverte du boson de Higgs en 2012 grâce au LHC a confirmé le moment clé de l'histoire cosmique qui a façonné les lois de la physique telles que nous les connaissons aujourd'hui. Mais de nombreux mystères demeurent.

Une fraction de seconde après le Big Bang, l'Univers était composé d'un plasma bouillonnant de particules élémentaires où la température devait atteindre des millions de milliards de degrés. L'identité des électrons, des photons ou des quarks était encore assez floue. Dépourvus de masse, ils se déplaçaient tous à la vitesse de la lumière dans cette soupe primordiale régie notamment par un niveau très élevé de symétries et une force dite électrofaible. Puis, en se refroidissant, l'Univers a franchi un seuil critique qui allait façonner les lois de la physique telles que nous les connaissons aujourd'hui. Un champ quantique imprégnant tout l'espace, le champ de Higgs, s'est mis alors à agir, brisant spontanément les symétries originelles, conférant leur masse aux particules élémentaires et scindant la force électrofaible en deux interactions distinctes : la force électromagnétique, responsable de l'électricité et du magnétisme, et la force faible, qui fait briller les étoiles. La découverte du boson de Higgs en 2012, au Cern, grâce au grand collisionneur de hadrons (LHC), a confirmé ce moment clé de l'histoire cosmique, *« mais de nombreux mystères demeurent »*, pose Nicolas Berger, chercheur au Laboratoire d'Annecy de physique des particules. Les scientifiques ignorent, en particulier, de quelle manière le champ de Higgs est entré en action. *« Une énigme au croisement de plusieurs autres questionnements majeurs, sur la prédominance de la matière sur l'antimatière ou la stabilité même du cosmos, mais qui devrait être résolue grâce aux prochaines générations d'accélérateurs de particules »*, s'enthousiasme Nicolas Berger.

Le modèle du chapeau mexicain



L'énergie potentielle du champ de Higgs a connu une transition majeure au début de l'Univers.

BRUNO BOURGEOIS - SOURCE : PRITAM DAS, 2021

L'analogie suivante permet de mieux comprendre le phénomène de brisure spontanée de symétrie. Pour cela, imaginez une bille qui serait placée en équilibre au sommet d'un « chapeau mexicain » (*voir le schéma ci-dessus*) : une position parfaitement symétrique où toutes les directions sont équivalentes, mais qui est instable et ne peut durer qu'un court instant. Elle correspond en effet à un maximum local d'énergie potentielle gravitationnelle, la moindre perturbation faisant rouler la bille dans une direction ou une autre vers le creux du chapeau — le point le plus bas du système — où l'énergie est cette fois-ci minimale. C'est ce type de mécanisme qui est intervenu peu après le Big Bang. Car le champ de Higgs est associé lui aussi à une énergie potentielle et adopte spontanément la configuration la plus basse. À l'aube de l'Univers, il se trouvait ainsi dans un état symétrique mais instable, comme la bille au sommet du chapeau, avec une énergie potentielle maximale mais une valeur égale à zéro dans le vide de l'espace. Puis, quand l'Univers a commencé à s'étendre, à refroidir, passant en deçà d'un certain seuil de température, il a fait basculer le champ de Higgs vers la configuration d'énergie potentielle la plus basse tout en lui conférant une valeur non nulle dans le vide. C'est à ce moment que les particules élémentaires — notamment celles qui transmettent la force faible — ont commencé à ressentir sa présence et à se différencier : « *Plus elles entraient en interaction avec lui, plus elles étaient ralenties et devenaient massives* », indique Nicolas Berger.

Des hypothèses pour expliquer la prédominance de la matière

Mais les physiciens ne savent pas comment le potentiel du champ de Higgs a évolué au cours de cette transition. Pour reprendre l'analogie du chapeau mexicain, tout l'enjeu est de comprendre de quelle manière le « creux » s'est formé dans les tout premiers instants de l'Univers. Plusieurs situations sont possibles. La plus simple décrit un processus graduel où le minimum d'énergie potentielle aurait glissé lentement vers sa position d'équilibre final. Dans ce cas de figure, les particules auraient acquis leur masse de façon plutôt progressive et homogène à mesure que l'Univers s'est refroidi. Une deuxième famille de scénarios envisage, au contraire, une transition brutale. Le champ de Higgs aurait alors chuté subitement dans cet état de moindre énergie, engendrant ici et là de petites bulles de « nouveau vide », emplies du champ de Higgs, baignant encore dans l'ancien vide qui en était dépourvu. Dans un univers en pleine expansion, ces bulles auraient rapidement gonflé puis fusionné entre elles jusqu'à emplir tout le cosmos.

Une hypothèse particulièrement fascinante, car elle pourrait éclairer l'une des interrogations les plus fondamentales de l'astrophysique : pourquoi l'Univers est-il presque entièrement composé de matière, alors que matière et antimatière ont été produites en quantités égales au moment du Big Bang ? « *Les particules de matière et d'antimatière — comme l'électron et son antiparticule, de même masse mais de charge opposée — s'annihilent lorsqu'elles se rencontrent* », rappelle Nicolas Berger. L'apparition d'un excès de matière implique ainsi une rupture brutale de l'équilibre initial : sans cela, la réaction inverse aurait annihilé aussitôt toute la matière naissante. « *Des bulles de nouveau vide formées au cours de la brisure de symétrie électrofaible auraient très bien pu provoquer ce déséquilibre favorisant la matière au détriment de l'antimatière* », avance le chercheur.

Il existe enfin un troisième type de possibilités, hautement improbables mais apocalyptiques. Dans ces situations, le potentiel du champ de Higgs ne présenterait pas un seul minimum mais au moins deux. L'état actuel de l'Univers correspondrait alors à un minimum local, un « faux vide » mais pas au

CNES-F.MALIGNE

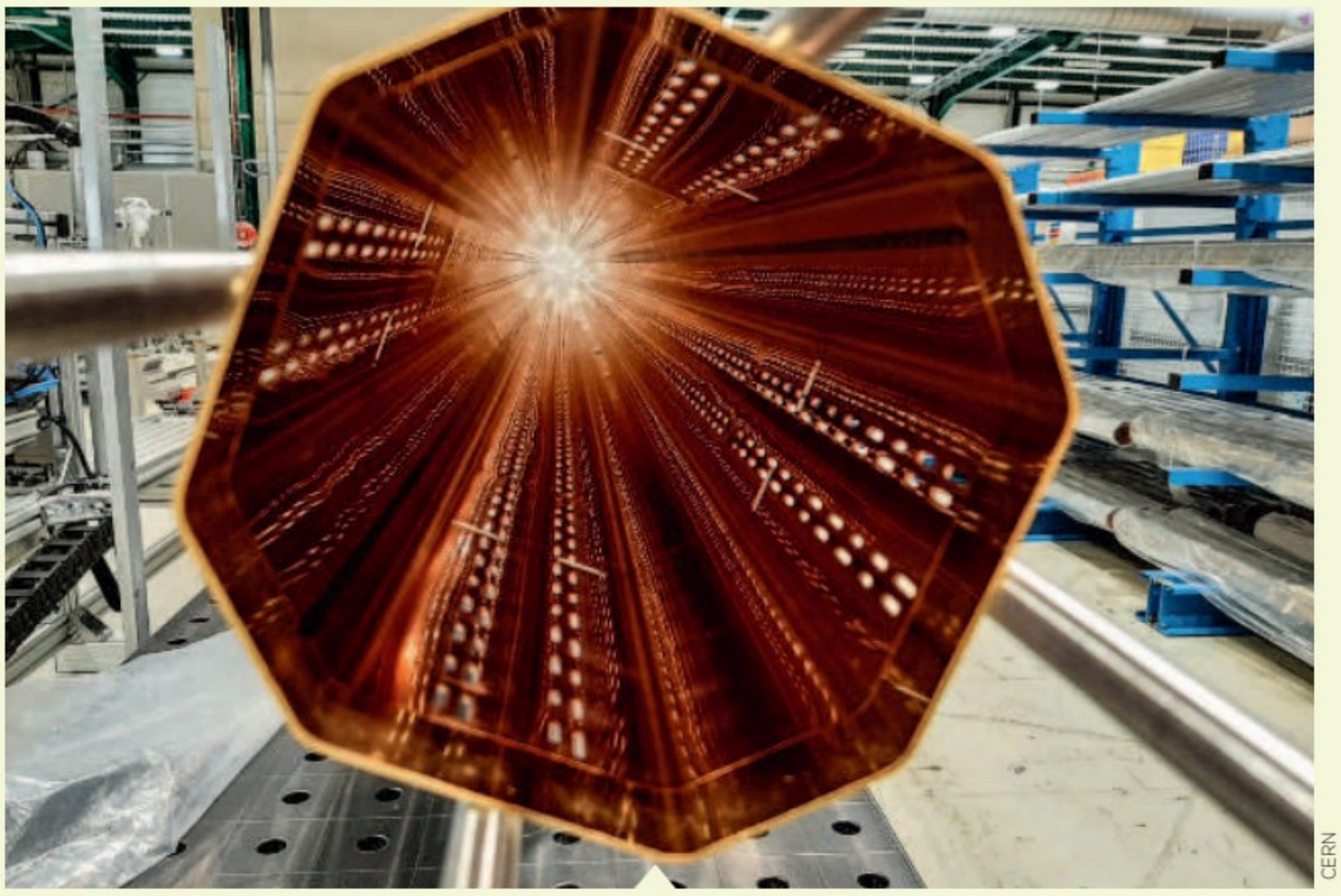
« L'énigme du champ de Higgs devrait être résolue grâce aux prochaines générations d'accélérateurs de particules »

Nicolas Berger, chercheur au Laboratoire d'Annecy de physique des particules

MISE À NIVEAU

Le LHC n'a pas dit son dernier mot

Les physiciens n'auront peut-être pas à attendre les années 2040 et la mise en œuvre du futur collisionneur circulaire pour commencer à percer les secrets les mieux gardés du boson de Higgs. Prévue pour le début des années 2030, une mise à niveau du grand collisionneur de hadrons, le LHC, augmentera en effet de façon très significative le potentiel de découvertes. *« La luminosité du LHC, un indicateur proportionnel au nombre de collisions de particules au sein de l'accélérateur, augmentera d'un facteur dix »*, annonce Gautier Hamel de Monchenault, directeur de la recherche et du calcul scientifique au Cern. Poussé au maximum de ses capacités, le LHC « haute luminosité » produira ainsi au moins 15 millions de bosons de Higgs chaque année, contre 3 millions par an depuis 2017. De quoi espérer observer des processus beaucoup plus rares issus des collisions de protons, comme la production d'une paire de bosons de Higgs et leur « autocouplage ».



CERN

Le LHC « haute luminosité » vise à augmenter fortement l'intensité des collisions.

Lancés dès 2018, les travaux se dérouleront principalement à partir de juillet 2026, profitant alors d'une longue phase d'arrêt du LHC. Ils reposeront, en particulier, sur le remplacement de 1,2 km de l'anneau (sur 27 km au total) par des technologies innovantes : des aimants supraconducteurs niobium-étain d'une intensité de 12 teslas, par exemple, permettant de concentrer encore mieux les faisceaux de protons. *« Il faut s'attendre à de très grands résultats de physique »*, prévient Gautier Hamel de Monchenault.

niveau d'énergie le plus bas. Il pourrait donc, théoriquement, basculer vers un creux plus profond du chapeau mexicain, générant des bulles de « vrai vide » se propageant à la vitesse de la lumière, en détruisant puis en reconfigurant totalement l'Univers ! Pas de panique toutefois : le fait que le cosmos soit âgé de 13,7 milliards d'années indique que cet état métastable — s'il existe — pourrait durer incroyablement longtemps.

C'est néanmoins une raison supplémentaire qui pousse les physiciens à vouloir connaître la forme de l'énergie potentielle du champ de Higgs. Or, cet objectif devrait pouvoir être atteint grâce au LHC « haute luminosité » attendu à l'horizon 2030 (*lire l'encadré ci-dessus*), et, plus encore, au futur collisionneur circulaire (*lire p. 26*), son successeur présumé d'ici à une vingtaine d'années. Ces collisionneurs de particules seront en effet assez performants pour réaliser une expérience décisive : mesurer l'intensité avec laquelle le boson de Higgs interagit avec lui-même. *« Ce paramètre détermine l'énergie associée aux différentes configurations du champ de Higgs et donne ainsi accès à la forme de son potentiel »*, décrypte Nicolas Berger. Mais cette mesure est très difficile à réaliser. Elle suppose de produire simultanément au moins deux bosons de Higgs : *« Un phénomène environ deux mille fois plus rare que la production d'un boson de Higgs isolé, hors de portée des capacités actuelles du LHC »*, précise le chercheur. Quand ce cap sera franchi, les physiciens pourront enfin cartographier la totalité du chapeau mexicain. Une percée potentiellement aussi importante que la découverte du boson de Higgs lui-même, qui ouvrirait une fenêtre inédite sur le mécanisme gouvernant la structure intime du cosmos. ■ **F. D.**

En quête d'une nouvelle physique

Le futur collisionneur circulaire (FCC) sera déterminant pour la physique des particules. Sa force : une précision inégalée et une production massive de données, qui permettront de traquer les moindres écarts aux prédictions du modèle standard.

Si le futur collisionneur circulaire (FCC) est annoncé comme une « usine à Higgs », ses caractéristiques dessinent le portrait d'un explorateur de la matière plus ambitieux encore, capable d'aller tutoyer les frontières connues de la physique, définies par le modèle standard de la physique des particules. Il tirera sa force non pas de sa puissance — dans sa configuration « ee », ses collisions seront moins énergétiques que celles du LHC —, mais de sa précision, explique Christophe Grojean, physicien des particules au centre de recherche Desy, en Allemagne, et très impliqué dans le projet FCC. *« Nous allons travailler dans un environnement beaucoup plus propre, avec moins de bruit de fond. Donc s'il y a un signal, nous le verrons plus facilement qu'au LHC. »*

Cette netteté s'explique en partie par la nature même des collisions : le FCC « ee » fera se rencontrer électrons et positrons, deux particules élémentaires sans structure interne, contrairement aux protons du LHC, constitués de quarks et de gluons. *« Dans une collision électron-positron, toute l'énergie initiale est portée par les deux particules,* développe Louis Portalès, physicien des particules au CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives). *Elle est donc entièrement disponible et connue. Alors que dans une collision proton-proton, elle est partagée entre leurs constituants, ce qui brouille la reconstitution de l'état final après la collision. »*

À cette netteté s'ajoute la quantité. Le FCC-ee générera un nombre sans précédent de particules dont les détecteurs ne perdront pas une miette. *« En une minute, il produira autant de bosons W et Z que le LEP* [prédécesseur du LHC entre 1989 et 2000] *en dix ans »*, souligne Christophe Grojean. Cette accumulation de données permettra d'atteindre une précision record, tout en augmentant la probabilité d'observer des événements rares. Mais comment cette précision et cette abondance pourraient-elles ouvrir la voie à des découvertes, alors même que le domaine d'énergie du FCC aura déjà été exploré par le LHC ? Le physicien Olcyr Sumensari, du Laboratoire de physique théorique d'Orsay, invoque une analogie astronomique : *« Avec des mesures de très haute précision, on peut détecter de petites déviations par rapport aux prédictions, qui révèlent l'influence de phénomènes encore inaccessibles directement. C'est comme la découverte de Neptune : en observant des anomalies dans l'orbite d'Uranus, on a pu déduire son existence avant de l'observer. »*

De fait, *« même si l'on ne produit pas directement des particules nouvelles, on pourrait voir leur influence sur les interactions entre les particules que l'on mesure »,* confirme Christophe Grojean. Un effet qui découle des « boucles quantiques ». En physique quantique, le vide n'est jamais vide : des particules apparaissent et disparaissent, comme un bouillonnement. Lors d'une interaction entre deux particules, ces apparitions éphémères — qui peuvent être des particules connues ou inconnues — s'insèrent brièvement dans le processus et en modifient très légèrement l'issue.

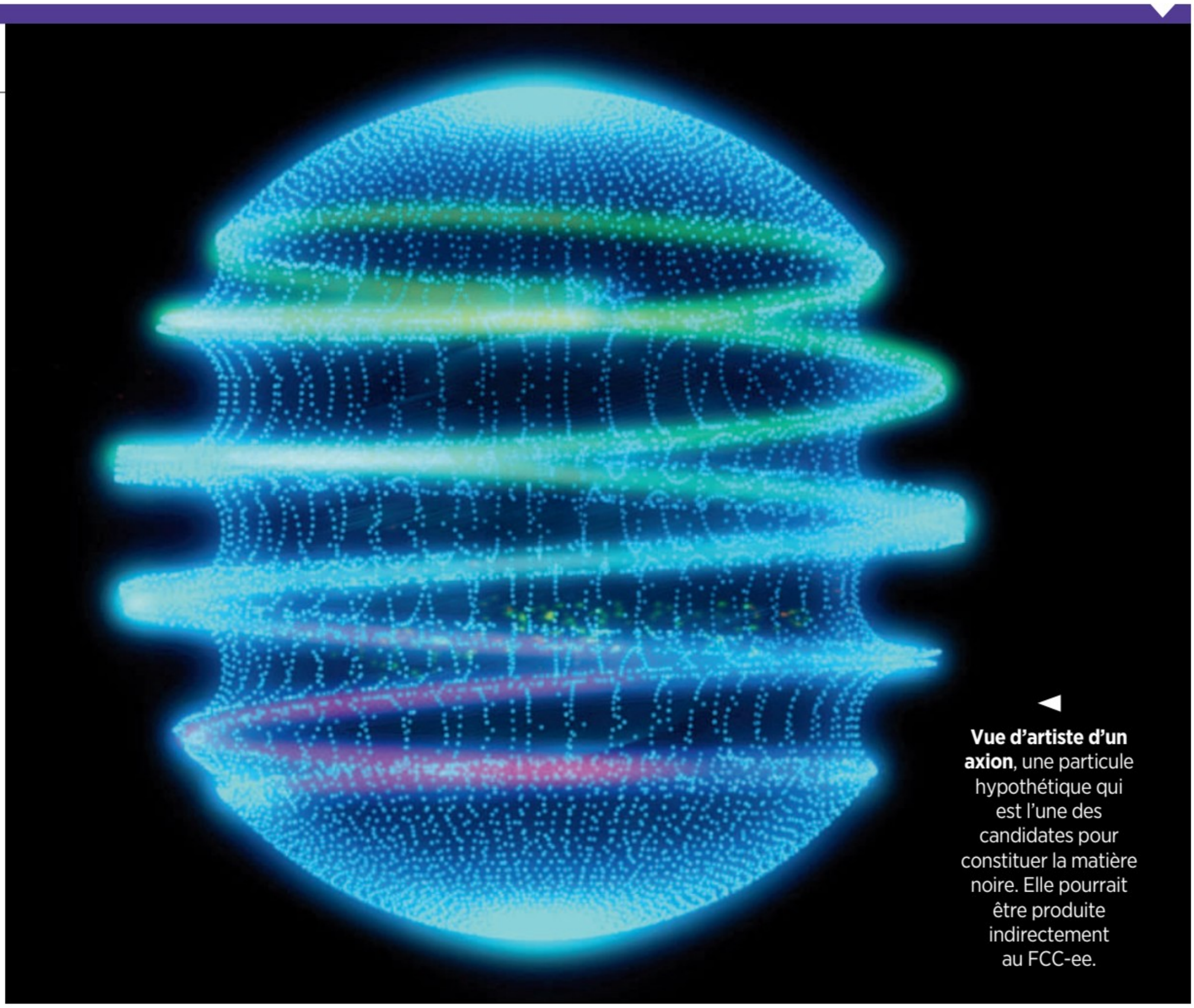
La recherche de désintégrations extrêmement rares

« Des phénomènes situés à des énergies bien plus élevées peuvent laisser une infime empreinte dans les processus que l'on observe à plus basse énergie », résume Louis Portalès. Une approche qui a fait ses preuves, comme le rappelle Olcyr Sumensari : *« Au LEP, on a pu déterminer la masse du quark top avant sa découverte directe. »* Dans cet esprit, les chercheurs scruteront particulièrement les désintégrations des bosons W et Z. Ces particules jouent un rôle clé : elles interagissent avec la plupart des constituants de la matière, et leur comportement est décrit avec une très grande précision par le modèle standard. Les physiciens vont donc tra-

CHRISTOPHE GROJEAN

« Nous allons travailler dans un environnement beaucoup plus "propre". Donc s'il y a un signal, nous le verrons plus facilement »

Christophe Grojean, physicien des particules au centre de recherche Desy, en Allemagne



Vue d'artiste d'un axion, une particule hypothétique qui est l'une des candidates pour constituer la matière noire. Elle pourrait être produite indirectement au FCC-ee.

SCIENCE PHOTO LIBRARY/ANDRADE, RAMON/3DCIENCIA

quer le moindre écart dans leurs désintégrations. *« Nous serons sensibles à des désintégrations extrêmement rares, qui pourraient révéler des particules interagissant très faiblement avec la matière ordinaire »*, explique le physicien.

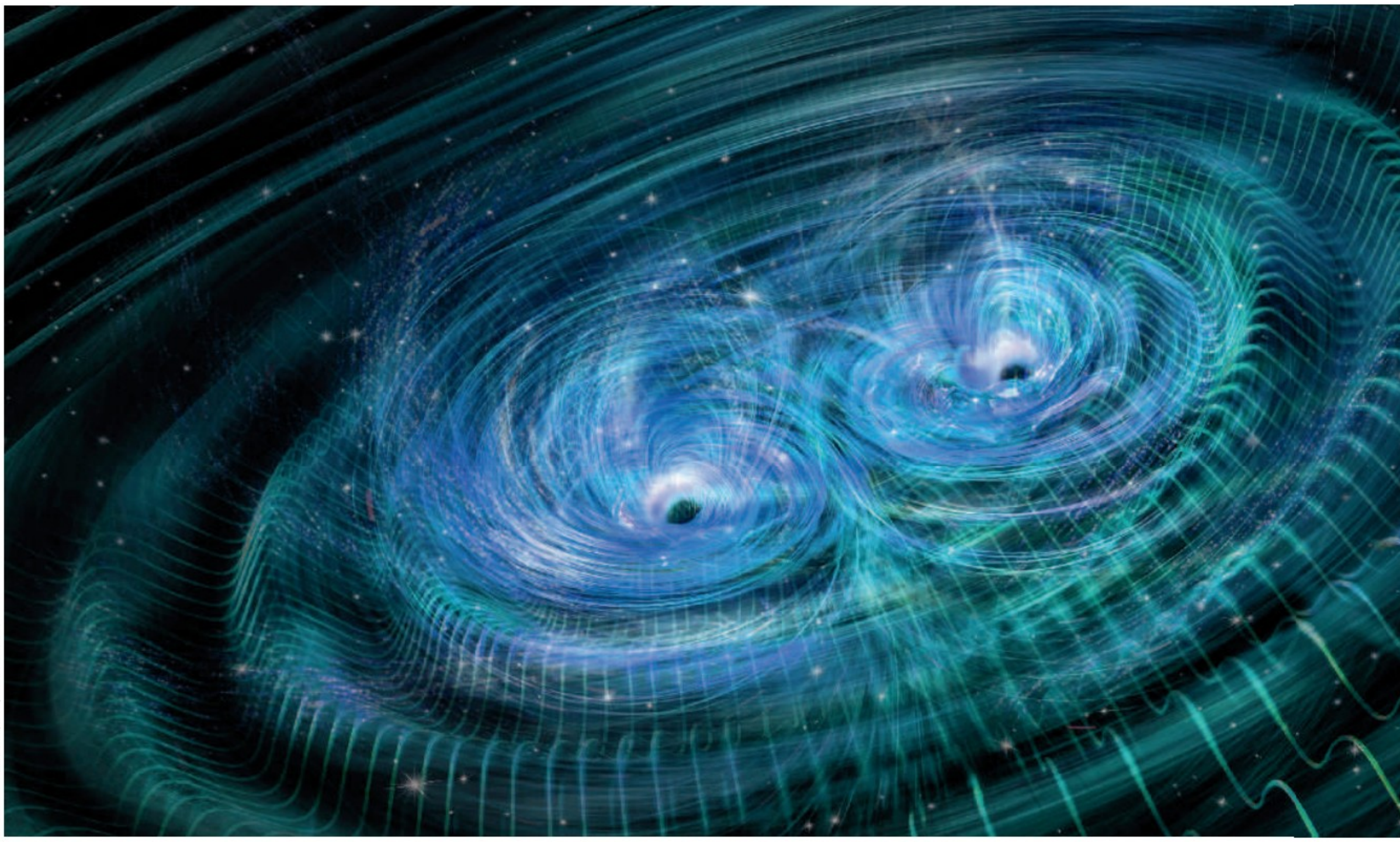
Ce qui correspond au portrait-robot de la matière noire. Elle composerait 85 % de la matière totale de l'Univers, mais elle n'interagit pas, ou presque, pas avec la matière. Parmi les candidats, tous hypothétiques, figurent des particules comme les Wimps (Weakly interacting massive particles) ou les axions. *« Certaines de ces particules pourraient apparaître dans des désintégrations rares du boson Z »*, estime Christophe Grojean.

Le FCC-ee pourrait aussi éclairer une question plus profonde : pourquoi les particules élémentaires ont-elles des propriétés si différentes ? Les quarks et les leptons se répartissent en plusieurs familles, aux masses très différentes, sans que le modèle standard n'en explique l'origine.

Le futur collisionneur, une véritable usine à « saveurs »

« Cette hiérarchie des masses reste l'un des grands mystères de la physique des particules », constate Olcyr Sumensari. Grâce à la production massive de bosons Z, qui se désintègrent en paires de quarks et de leptons, le futur collisionneur deviendra une véritable « usine à saveurs ». La « saveur » désigne les différentes versions d'une même particule. Par exemple, l'électron, le muon et le tau sont trois leptons de saveur différente. L'électron est stable, mais le muon et le tau se transforment en d'autres particules, changeant ainsi de saveur selon des règles très précises fixées par le modèle standard. En observant en détail ces désintégrations — quelles transformations ont lieu, à quelle fréquence, avec quelles asymétries — les physiciens peuvent tester ces règles avec une précision inédite. La moindre anomalie pourrait alors révéler l'existence de nouveaux mécanismes ou de particules influençant ces transitions. Voire éclairer le mystère de la disparition de l'antimatière (*lire p. 33*). *« Certaines de ces asymétries peuvent révéler que la matière et l'antimatière n'obéissent pas exactement aux mêmes règles »*, souligne Louis Portalès.

Que ce soit de manière directe ou indirecte, c'est donc toute une nouvelle physique que le FCC pourrait révéler. Sans compter que les indices débusqués grâce à sa précision deviendront autant de cibles pour le FCC-hh, capable cette fois de produire directement les particules en jeu. ■ **F. N.**



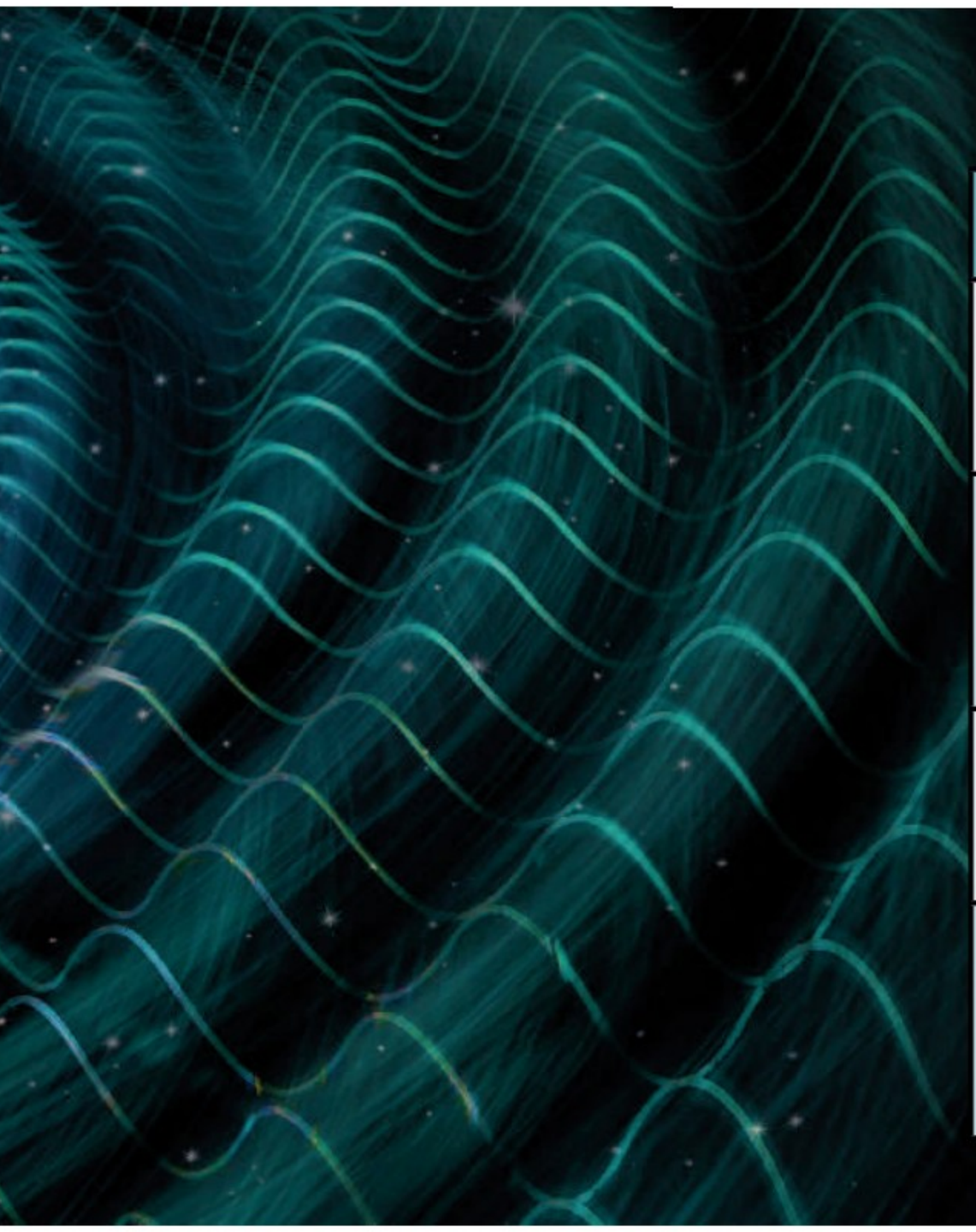
NICOLLE R. FULLER / SPL/ SUCRÉ SALÉ

Astrophysique

Les trous noirs de masse intermédiaire se dévoilent

La publication du quatrième catalogue de la collaboration Ligo-Virgo-Kagra apporte de nouveaux indices sur les trous noirs de masse intermédiaire. La formation de ces objets de quelques centaines à plusieurs milliers de masses solaires reste, en effet, l'une des grandes énigmes de l'astrophysique.

Par Fabrice Nicot



La famille des trous noirs

Type de trous noirs	Masse (en masse solaire)	Origine
Stellaires	3 à 100	Ils sont créés par l'effondrement d'une étoile massive en fin de vie.
Intermédiaires	100 à 100 000	Encore mal compris, ils pourraient résulter de fusions successives ou d'effondrements directs.
Supermassifs	Quelques millions à quelques milliards	Ils sont situés au centre des galaxies ; leur formation reste en partie mystérieuse.
Primordiaux	Très variable, de moins d'une à plusieurs milliers	Ils pourraient s'être formés peu après le Big Bang ; mais ils n'ont jamais été observés de façon certaine.

Sur la photo de famille, ils sont ceux que l'on distingue à peine. Les trous noirs de masse intermédiaire, compris entre une centaine et cent mille masses solaires, sont rares. Et leur formation reste mystérieuse. *« Plusieurs mécanismes sont envisagés, mais aucun n'est totalement satisfaisant »*, résume Marta Volonteri, directrice de recherche CNRS à l'Institut d'astrophysique de Paris. Il y a pourtant urgence à les comprendre, car ils pourraient constituer les briques pour bâtir, par fusions successives, les trous noirs supermassifs (de plusieurs millions à plusieurs milliards de masses solaires) qui hantent le cœur des galaxies. Autant dire que toute information à leur sujet est bienvenue. C'est précisément ce qui rend précieux l'O4, le nouveau catalogue d'ondes gravitationnelles de la collaboration Ligo-Virgo-Kagra (LVK) — le quatrième depuis 2015 — et publié dans *Astrophysical Journal Letters* le 5 mars. Puisque, des trous noirs intermédiaires, LVK en a ramené quelques-uns dans ses filets…

Le réseau LVK repose sur quatre détecteurs : deux aux États-Unis (Ligo), un en Italie (Virgo) et un au Japon (Kagra). Ils enregistrent les infimes déformations de l'espace-temps provoquées par le passage d'ondes gravitationnelles. Ces ondes sont émises lors de la fusion de trous noirs ou d'étoiles à neutrons. Quatre événements enregistrés par la collaboration entre 2023 et 2024 pourraient être classés comme trous noirs de masse intermédiaire.

Une naissance observée « en direct », une aubaine pour les chercheurs

Même s'il faut rester prudent, comme l'explique Viola Sordini, astrophysicienne à l'Institut des 2 infinis de Lyon et membre de la collaboration LVK. *« Ces objets sont difficiles à caractériser avec précision. Les masses des trous noirs détectés ne sont pas mesurées directement, mais déduites à partir de la forme du signal d'ondes gravitationnelles émis lors de leur fusion. »* Les résultats sont donc exprimés en termes de probabilités, avec des marges d'incertitude parfois importantes. Néanmoins, un constat s'impose selon Viola Sordini : *« Les trous noirs intermédiaires existent. Il n'y a pas de "trou" dans la distribution des masses. »*

Parmi les événements enregistrés lors de l'O4, il y en a un qui se distingue particulièrement : ▶

Fusion de deux trous noirs. Les masses de ces objets célestes sont mesurées de manière indirecte à partir de la forme du signal d'ondes gravitationnelles émis lors de leur fusion.

RECENSEMENT

O4, un catalogue qui change d'échelle

Onze ans après la première détection d'ondes gravitationnelles, la collaboration Ligo-Virgo-Kagra (LVK) franchit un cap avec l'O4, son quatrième catalogue, publié en 2026. Celui-ci recense 128 nouveaux événements détectés entre mai 2023 et janvier 2024, soit plus du double des trois premières campagnes. Mais au-delà du nombre, c'est la diversité des sources qui frappe. Le catalogue révèle des systèmes de plus en plus massifs, à commencer par GW231123, la fusion de deux trous noirs de plus de 100 masses solaires chacun, la plus lourde jamais observée. D'autres événements sortent du lot. GW231028 présente ainsi des trous noirs en rotation extrêmement rapide sur eux-mêmes, environ 40 % de la vitesse de la lumière, tandis que GW231118 met en scène un système très déséquilibré, où l'un des objets est deux fois plus massif que l'autre. À l'inverse, certains signaux figurent parmi les plus « nets » jamais enregistrés, comme GW230814, permettant de tester avec une précision inédite la théorie de la relativité générale. Ce catalogue ne correspond toutefois qu'au premier tiers de la campagne O4, le reste devant être publié en deux temps d'ici à la fin de l'année, après analyse fine des données. Viola Sordini se montre optimiste : *« Il y a eu environ 250 alertes significatives durant l'O4. Cela signifie qu'il y aura encore beaucoup de données à venir, et de science intéressante à faire avec LVK. »*

▶ GW231123. Détecté le 23 novembre 2023, cet épisode correspond à la fusion de deux trous noirs estimés à environ 103 et 137 masses solaires, qui ont donné naissance à un trou noir final de 225 masses solaires. Les astres « parents » et le rejeton sont donc tous dans la gamme des trous noirs intermédiaires, un cas unique pour l'instant. *« C'est la fusion des trous noirs les plus massifs jamais enregistrés. Et le signal est très net, donc nous avons une grande confiance dans ce résultat »*, se félicite Marta Volonteri. Cette naissance observée « en direct » d'un trou noir intermédiaire, à partir de deux autres, constitue une aubaine pour les scientifiques, qui tentent de comprendre son origine. Plusieurs scénarios sont à l'étude, correspondant à différents cas de figure.

Le premier script repose sur l'effondrement d'une étoile massive sur elle-même. *« La question de savoir si une étoile normale peut former ce type de trou noir n'a rien d'évident »*, avertit Marta Volonteri. Il faudrait, en effet, envisager comme « parent » une étoile d'au moins 100, voire 1000 masses solaires. Or, les étoiles les plus massives, surtout lorsqu'elles sont riches en éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium, perdent une grande partie de leur masse au cours de leur vie. *« Même une étoile de plusieurs milliers de masses solaires peut donner un trou noir d'une dizaine de masses solaires seulement »*, estime l'astrophysicienne. À l'inverse, des étoiles pauvres en métaux peuvent conserver une fraction beaucoup plus importante de leur masse, mais ces conditions sont rares dans l'univers actuel. En effet, seules les toutes premières générations d'étoiles étaient dépourvues d'éléments lourds, puisqu'ils n'avaient pas encore été forgés. Ces premières étoiles pourraient donc, en théorie, donner naissance à des trous noirs relativement massifs. Mais, comme le souligne Marta Volonteri, *« elles ne peuvent expliquer à elles seules les événements observés aujourd'hui »*. En effet, les trous noirs qu'elles produisent sont trop rares et, surtout, trop peu susceptibles de former des couples assez proches pour finir par entrer en collision et former toute la gamme des trous noirs intermédiaires.

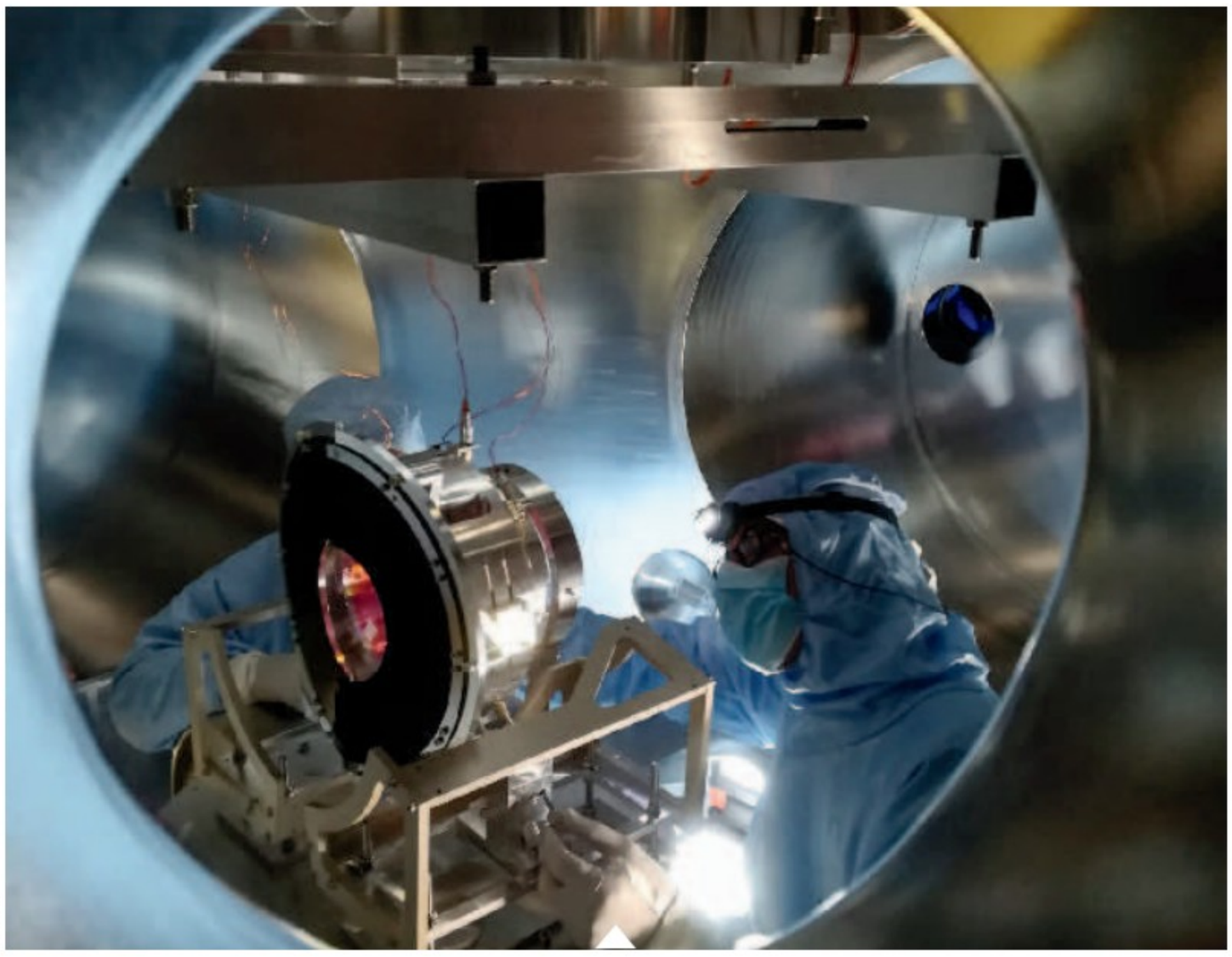
Traquer étoiles et trous noirs dans l'Univers plus lointain

Un autre scénario envisage leur formation dans des environnements denses, comme les amas d'étoiles. Là, des collisions et des fusions successives de trous noirs pourraient donner naissance à des objets de plus en plus massifs. Toutefois, ce mécanisme se heurte à une difficulté majeure : *« Au moment où deux trous noirs fusionnent, le trou noir résultant acquiert une vitesse qui peut être très élevée »*, rappelle Marta Volonteri. Propulsé à plusieurs centaines de kilomètres

V. SORDINI

« Il faut continuer d'accumuler des détections afin de brosser un portrait statistique de ces populations »

Viola Sordini, astrophysicienne à l'Institut des 2 infinis de Lyon et membre de la collaboration LVK



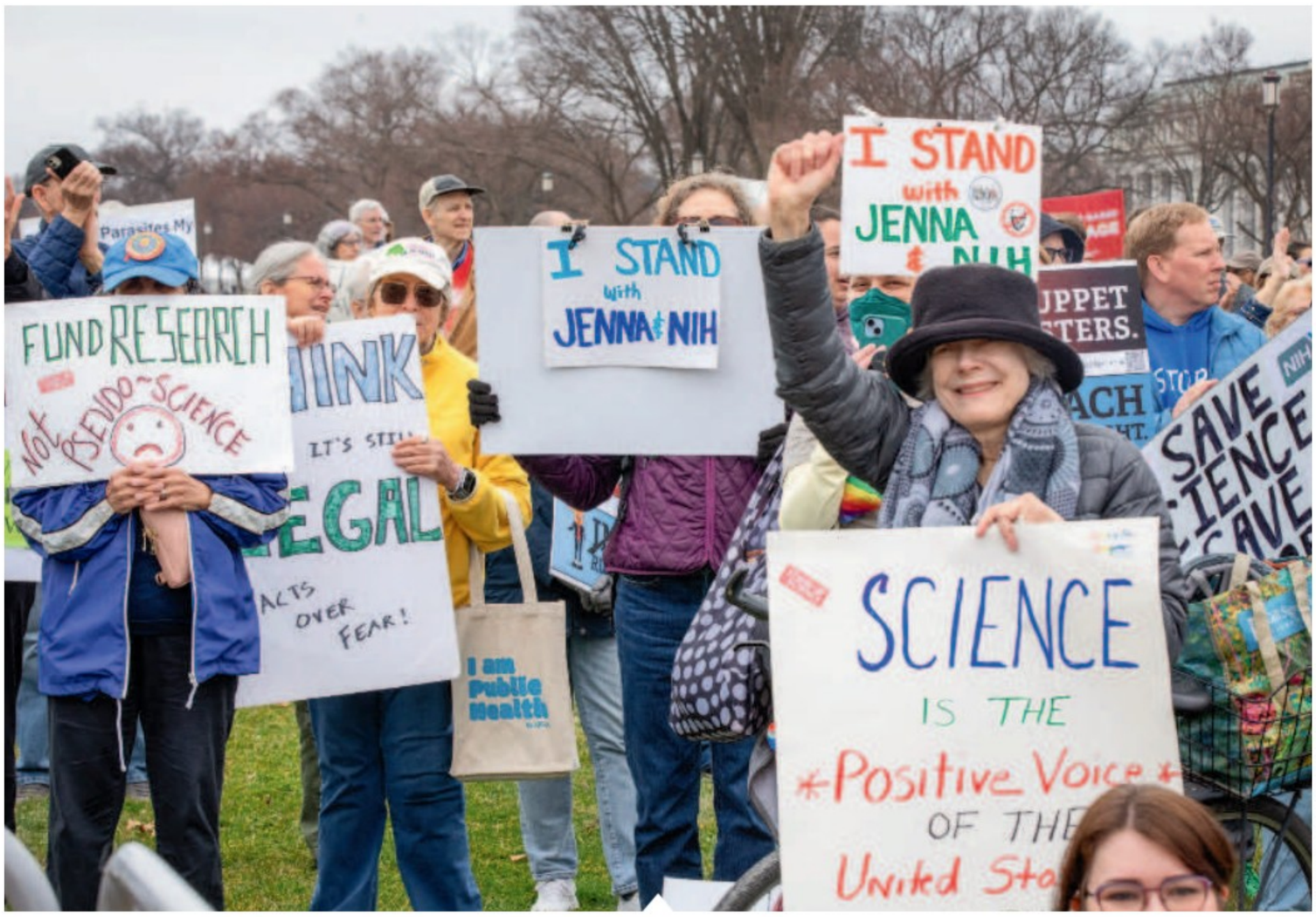
VIRGO

Miroir de haute précision de l'instrument Virgo, utilisé par les chercheurs de la collaboration LVK dans la détection des ondes gravitationnelles.

par seconde, il est alors éjecté de son environnement, ce qui limite fortement la possibilité de fusions en chaîne.
Reste enfin l'hypothèse d'un effondrement direct de vastes nuages de gaz. Dans ce scénario, le gaz ne se fragmente pas en étoiles ordinaires, mais s'effondre en une étoile supermassive, avant de s'effondrer à son tour en trou noir. Mais là encore, les conditions nécessaires sont extrêmes. Il faut, notamment, des environnements très pauvres en éléments lourds et des flux de gaz suffisamment intenses pour empêcher le nuage de se fragmenter en plusieurs étoiles ordinaires, tout en alimentant en continu l'étoile centrale de plus en plus massive. *« On s'attend à ce que ces processus soient peu fréquents »,* conclut la chercheuse en astrophysique.
Alors, que nous dit GW231123, confronté à tous ces scénarios ? Il contient un précieux indice sur l'origine des corps parents. Il s'agit de leur spin, qui correspond à leur rotation sur eux-mêmes. Les deux objets précurseurs de GW231123 semblent avoir eu un spin élevé avant de se percuter et de fusionner. Or, ce spin renseigne sur leur histoire. En effet, des trous noirs issus de fusions successives ont tendance à acquérir des spins élevés. À l'inverse, ceux formés directement par l'effondrement d'une étoile devraient, en moyenne, tourner plus lentement. Dans le cas de GW231123, ce spin élevé apparaît donc comme un indice fort en faveur d'une croissance par étapes. Évidemment, si l'on considère que les trous noirs acquièrent une vitesse après avoir fusionné, ces rencontres successives posent question. Hélas, pris isolément, un événement comme GW231123 pose plus de problèmes qu'il n'en résout.
D'autant plus que la gamme de masses des trous noirs intermédiaires est large : rien ne dit qu'un astre de 200 masses solaires se forme comme un objet cent fois plus massif. Comme le souligne Viola Sordini, *« il faut continuer d'accumuler des détections afin de brosser un portrait statistique de ces populations »*. En effet, avec davantage de données, les astrophysiciens peuvent comparer les masses et les rotations observées aux prédictions des différents modèles, et commencer, enfin, à départager les scénarios.
Par ailleurs, la collaboration LVK n'est pas l'unique moyen d'en apprendre plus sur les trous noirs intermédiaires, rappelle Marta Volonteri : *« Les caractéristiques de ces détecteurs les limitent à des trous noirs de quelques centaines de masses solaires, et relativement proches de nous. Pour moi, ce qui est important, c'est de pouvoir étudier le comportement des étoiles et des trous noirs dans les amas d'étoiles, ce que fait déjà LVK, mais dans l'Univers plus lointain. »*

De nouveaux instruments de détection bientôt disponibles

Pour cela, de nouveaux instruments devraient entrer en scène dans les prochaines années. À commencer par l'observatoire Vera-Rubin, au Chili, et son programme LSST (Legacy Survey of Space and Time). Il réalisera bientôt un relevé complet du ciel visible toutes les semaines, de quoi repérer en continu les événements brefs et violents — explosions d'étoiles, collisions d'astres ou variations soudaines de luminosité — susceptibles de trahir la présence de trous noirs intermédiaires. Il a collecté sa première lumière en novembre 2025. Le radiotélescope géant SKA (Square Kilometre Array), en cours de construction, permettra quant à lui d'étudier avec une précision inédite les populations d'étoiles et de trous noirs grâce à ses observations dans le domaine des ondes radio.
Enfin, les pièces maîtresses de la traque aux trous noirs se nomment Lisa (Laser Interferometer Space Antenna) et Einstein Telescope. Lisa est un détecteur d'ondes gravitationnelles spatial prévu pour 2035. Constitué de trois satellites, il sera sensible à des trous noirs bien plus massifs et à des distances bien plus grandes que LVK… Idem pour Einstein Telescope, le successeur européen et terrestre de LVK, prévu pour 2040. De quoi traquer les trous noirs de masse intermédiaires jusqu'au fin fond de l'Univers. ■



BRIAN STUKES / GETTY IMAGES / AFP

Rassemblement à Washington (États-Unis) dans le cadre de Stand up for science le 7 mars 2026, un an après la première édition de cette mobilisation en faveur de la liberté académique et du financement de la recherche.

La France, refuge des scientifiques américains ?

Face aux attaques de Donald Trump contre les universités, la France a lancé en 2025 un plan d'accueil de chercheurs travaillant aux États-Unis. Mais les critiques ne manquent pas dans un contexte de sous-financement chronique de la recherche française.

La liberté académique est en péril aux États-Unis. Depuis son investiture en janvier 2025, Donald Trump n'a cessé d'attaquer les universités américaines et de couper dans le budget des instituts de recherche, poussant un grand nombre de chercheurs vers la porte de sortie. L'Europe s'est alors proposée comme un havre sûr pour les accueillir. En France, c'est l'université Aix-Marseille qui a été la première à ouvrir le bal avec, en mars 2025, le programme Safe Place for Science et son budget d'environ 17 millions d'euros. Le gouvernement français a continué sur cette lancée en annonçant, un mois plus tard, le programme Choose France for Science, doté d'un financement de 100 millions d'euros, dans le cadre du plan d'investissement France 2030. Cependant, ce choix d'ouverture a été

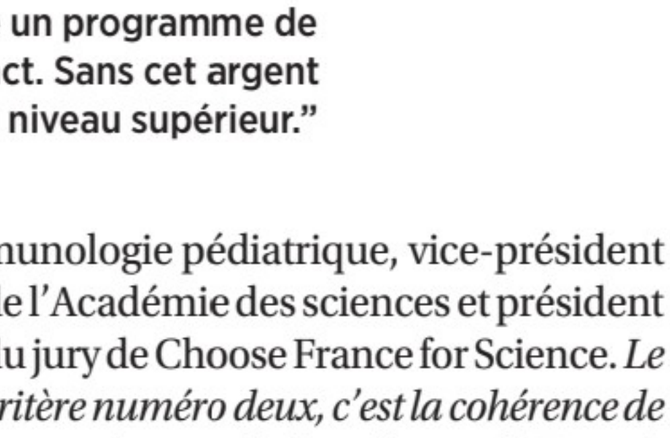
vivement critiqué par les syndicats universitaires français, qui affirment que la solidarité académique n'est pas le réel objectif du gouvernement.

Un an après ces annonces, une cinquantaine de chercheurs ont rejoint des établissements dans l'Hexagone, dont 19 Américains et 13 Français. Ils ont reçu, en moyenne, un million d'euros chacun pour financer leur recherche, sachant que le lieu d'accueil y contribuait, en principe, à la même hauteur. Ce budget de 100 millions devrait donc permettre la prise en charge d'une centaine de chercheurs. Pour le moment, les nouveaux arrivants se concentrent en Île-de-France et dans les Bouches-du-Rhône, et les établissements les plus attractifs sont le CNRS (avec 15 lauréats), l'université Aix-Marseille (12) ainsi que l'Institut Pasteur (3).

Lors de cette première vague d'arrivées, les domaines les plus représentés sont le climat, la santé et les biotechnologies, l'agriculture, l'intelligence artificielle et les sciences fondamentales. C'est, par exemple, le cas du mathématicien Zhongkai Tao, qui a rejoint l'Institut des hautes études scientifiques après avoir fait son doctorat à l'université de Californie à Berkeley : *« La France est un pays avec une forte tradition en mathématiques, c'était donc un choix naturel de venir ici. »* À son image, les lauréats de ces programmes se caractérisent par l'excellence de leurs parcours, un atout primordial dans le processus de sélection. *« Le premier critère et, de très loin, le plus important, c'est la qualité du dossier : à la fois le CV de la personnalité, en tenant compte de son âge, et son projet,* précise Alain Fischer, professeur d'immunologie pédiatrique, vice-président de l'Académie des sciences et président du jury de Choose France for Science. *Le critère numéro deux, c'est la cohérence de son projet avec le lieu d'accueil. Et, troisièmement, les difficultés rencontrées par cette personne aux États-Unis ou ailleurs. »*

VERBATIM

KENNETH LONG, INSTITUT DE PHYSIQUE DES 2 INFINIS (LYON)



K. LONG

“Choose France for Science n'a pas créé un poste pour moi, j'avais déjà obtenu une position par le concours du CNRS. Le financement du programme vient en plus, il ne paie pas mon salaire mais me permet d'engager un doctorant et un postdoc. Ça ressemble beaucoup à ce qui se fait aux États-Unis, où la plupart des chercheurs débutants reçoivent une bourse pour démarrer leur groupe de recherche. C'est très utile pour faciliter la transition entre un chercheur qui doit tout faire et celui qui supervise une équipe et qui peut construire un programme de recherche, et ainsi avoir un plus grand impact. Sans cet argent pour embaucher, c'est difficile de passer au niveau supérieur.”

Un programme critiqué pour son élitisme

Cette volonté d'excellence est précisément l'un des points les plus critiqués du programme. *« L'idée d'accueillir des chercheurs en difficulté du point de vue des libertés académiques est excellente. Toutefois, la mise en œuvre nous pose des questions,* souligne Virginie Saint-James, secrétaire générale du syndicat Sup'Recherche-Unsa. *D'abord, parce que le programme est fondé sur l'élitisme : on va choisir des dossiers parmi les plus brillants, pas parmi les plus persécutés. Les chercheurs en sociologie, par exemple ceux qui travaillent sur le genre, sont en grave difficulté aux États-Unis mais n'ont pas bénéficié du programme. Je ne conteste pas la pertinence pour le pays, mais j'ai l'impression qu'on s'est abrité derrière la liberté académique pour faire du débauchage. »*

Confronté à ces critiques, Alain Fischer explique la démarche du jury : *« L'objec-*

VERBATIM

JEAN-PHILIPPE AVOUAC,
NOUVEAU DIRECTEUR DE L'INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE DE PARIS

IPGP

“Le programme a facilité mon choix de rentrer en France en donnant des moyens pour démarrer ma recherche : un projet qui, en l'état, ne serait pas très facile à vendre à une agence de financement comme l'ANR. C'est le problème de la prédiction des séismes : on enregistre la position du sol (avec des stations GPS permanentes) sur des périodes très longues, ce qui permet d'étudier les déformations qui précèdent des séismes sur des dizaines d'années. Là, j'ai des moyens pour me lancer sur un sujet qui n'est pas forcément populaire, donc c'est une occasion un peu unique. Cela me laisse un an ou deux pour démontrer que cette approche est prometteuse, puis pour chercher d'autres financements.”

ÉTATS-UNIS

10 000 docteurs en sciences ont quitté leur poste en 2025

La seconde présidence de Donald Trump marque un tournant pour la recherche américaine. Dès sa première année, il a drastiquement coupé les budgets destinés aux études sur le climat, la santé publique et les sciences sociales. Même des institutions consacrées, telles que la Nasa ou les instituts nationaux de santé (NIH), ont vu leurs budgets amputés, entraînant le départ d'un grand nombre d'experts de la fonction publique fédérale. Selon la revue *Science*, qui a analysé en détail les mouvements d'effectifs dans 14 agences américaines de recherche, 10 109 docteurs en sciences et domaines connexes ont quitté leur emploi l'an dernier. Les départs ont ainsi été 11 fois plus nombreux que les embauches en 2025, soit une perte nette de 4 224 experts. Un manque qui affecte en particulier des agences qui comptent un grand nombre de scientifiques, comme la Fondation nationale pour la science (NSF).

tif premier reste de protéger, d'apporter une aide à des gens en difficulté, mais en se limitant à des chercheurs qui ont un niveau scientifique élevé. On ne peut pas se permettre de soutenir des scientifiques qui ont un niveau insuffisant et qu'on n'aiderait pas en France, par ailleurs. Ce serait une forme d'injustice à l'égard des scientifiques qui travaillent ici. » En ce qui concerne la sous-représentation de certains domaines, tels que la sociologie, il se défend de toute préférence pour les sciences dites dures : *« Nous avons reçu très peu de candidatures en sciences humaines et sociales. Ce n'est pas nous qui faisons un barrage, c'est le barrage qui est en amont, les gens ne sont pas suffisamment avertis. »*

1,6 million
de chercheurs aux États-Unis en 2021 (2e rang mondial après la Chine)
(SOURCE : CAMPUS FRANCE, 2022)

2e rang
en nombre de publications scientifiques, derrière la Chine, en 2022
(SOURCE : OST, 2024)

500 millions d'euros
débloqués par la Commission européenne pour le programme Choose Europe 2025-2027

Les informations sur le programme n'ont peut-être pas été assez diffusées dans les établissements américains, ce qui semble se vérifier en parlant avec les chercheurs sélectionnés. Parmi ceux contactés par *Sciences et Avenir*, la grande majorité entretenaient déjà un lien fort avec la France et pensaient venir, avec ou sans le programme. C'est le cas de Jean-Philippe Avouac, qui rentre après une vingtaine d'années aux États-Unis pour devenir le nouveau directeur de l'Institut de physique du globe de Paris (IPGP) : *« Je ne dirais pas que le programme lui-même a été essentiel dans mon cas personnel. J'avais déjà été approché par l'IPGP, et j'étais tenté par l'aventure de toute façon. Choose France, en me donnant de quoi financer ma recherche, a facilité ce choix. »*

C'était aussi le cas des scientifiques étrangers qui avaient déjà travaillé dans l'Hexagone, tel le Serbe Mladen Čičić, arrivé à CentraleSupélec en provenance de l'université de Berkeley : *« Je voulais rentrer en Europe. Je me sens plus proche de la culture du travail ici, et je connaissais déjà le fonctionnement académique en France. Le programme a aidé, mais je serais sans doute revenu, même sans lui. »* Enfin, certains étaient déjà sur place malgré leur affiliation à une université américaine. Comme Kenneth Long qui, avant d'arriver à l'Institut de physique des 2 infinis à Lyon, travaillait au Massachusetts Institute of Technology (MIT) mais était affecté au Conseil européen pour la recherche nucléaire (Cern), en Suisse : *« J'ai effectué mon doctorat au Cern puis j'y ai travaillé, même quand j'étais rattaché au MIT. Cela fait presque dix ans que je vis entre la France et la Suisse. »*

« Il manque 8 milliards pour les universités »

Le dernier point d'accroche concerne l'utilité du programme, dans un contexte de sous-financement chronique de la recherche française. *« Il faut se mettre à la place des chercheurs, qui rament au quotidien pour remplir des tonnes d'appels à projets et qui voient cet argent consacré à ce programme,* se désole Virginie Saint-James. *Et les lauréats sont très inégalement distribués. Ils arrivent surtout dans trois ou quatre instituts, donc ça ne va guère irriguer tout le tissu universitaire. On arrose là où c'est déjà mouillé. »* Contacté par *Sciences et Avenir*, le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche n'a pas donné suite à nos demandes d'entretien.

Boris Gralak, secrétaire général du syndicat SNCS-FSU, va plus loin, dénonçant un coup de communication : *« Ce programme est juste symbolique, il ne change rien pour la recherche française, c'est une opération de communication de la part du gouvernement. Il manque 8 milliards pour les chercheurs, et 8 milliards pour les universités, donc 100 millions, ce n'est rien. Et ça ne va pas non plus sauver la liberté académique : les chercheurs qui perdent leur travail se comptent par milliers aux États-Unis. C'est une bonne nouvelle pour les lauréats, on est heureux pour eux, mais ça ne règle aucun problème. »* ■

Nicolas Gutierrez C.

LES CROISIÈRES DU SAVOIR SCIENCES ET AVENIR

www.croisiere-du-savoir.fr

DES VOLCANS ET DES HOMMES
Une odyssée méditerranéenne

du 23 octobre au 1er novembre 2026

10 JOURS - 9 NUITS

Mathieu Nowak
Rédacteur en chef de Sciences et Avenir

En octobre 2026, *Sciences et Avenir* vous propose d'embarquer pour une nouvelle « Croisière du savoir » en compagnie de deux éminents scientifiques. Cette année, nous vous invitons à explorer un bassin méditerranéen façonné à la fois par les forces du feu et par les grandes civilisations qui l'ont peuplé. De Nice à Istanbul en passant par l'Italie, la Sicile et la Grèce, cette odyssée offrira une lecture inédite du monde méditerranéen, mêlant sciences, récits et émotions.

Tout au long du voyage, nous serons accompagnés par Philippe Charlier et Jacques-Marie Bardintzeff. Volcanologue et professeur des universités à l'Université Paris-Saclay, Jacques-Marie Bardintzeff nous guidera à la rencontre des géants de feu méditerranéens — Vésuve, Stromboli, Etna, que nous approcherons. Quant à Philippe Charlier, médecin légiste, anthropologue et historien, connu pour ses enquêtes sur Richard Cœur de Lion ou Henri IV, il éclairera la manière dont les sociétés méditerranéennes ont appréhendé la vie, la mort et le corps humain, avec une attention particulière portée aux traditions à Olympie.

Après avoir quitté Nice, nous rejoindrons Piombino puis Naples, dominée par l'imposante silhouette du Vésuve. Nous poursuivrons vers les îles Éoliennes, Lipari et Stromboli, avant de traverser le détroit de Messine pour regagner Catane, au pied de l'Etna. Notre traversée se prolongera ensuite vers la Grèce : Katakolon, porte d'accès au site d'Olympie ; puis Gythion, proche de la byzantine Mystra. Une escale à Syros précédera enfin notre arrivée à Istanbul, carrefour de l'Orient et de l'Occident.

Vos accompagnateurs Sciences et Avenir*

Philippe Charlier

Médecin légiste, anthropologue et historien, ancien directeur du département de la Recherche et de l'Enseignement au musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac, maître de conférences à l'université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines.

Jacques-Marie Bardintzeff

Volcanologue et professeur des universités à l'université Paris-Saclay, auteur de nombreux ouvrages dont « Volcanologue » (L'Harmattan, 2e édition, 2025).

Notre croisière se déroulera à bord du « MS Hamburg », un navire à taille humaine n'accueillant pas plus de 380 passagers avec trois espaces de conférences. Il répond aux dernières exigences environnementales sur les carburants, échappement et traitement des déchets. Il est exploité avec du diesel marin à faible teneur en soufre au lieu de l'huile lourde, conformément aux normes ISO actuelles et aux spécifications de MARPOL / OMI. Toutes les eaux usées sont traitées et purifiées avant d'être renvoyées hors du navire en qualité d'eau potable.

* non contractuel, sous réserve de disponibilité.

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS

PLEIN CAP « Croisières du Savoir »
CROISIÈRES PLEIN CAP : 251 ROUTE DE LA COLLE - 06270 VILLENEUVE-LOUBET
info@plein-cap.com - Tél. 04 93 20 21 20

GETTY IMAGES

Nos animaux de compagnie ont vu leur espérance de vie augmenter au cours de ces dernières années, passant de 11,8 à 12,7 ans pour le chien et de 8 à 11,9 ans pour le chat entre 1996 et 2022, selon une étude.

Chiens et chats

Les nouveaux espoirs pour augmenter leur longévité

L'espérance de vie des chiens et chats augmente depuis 30 ans. L'engouement pour ces animaux de compagnie pousse les instituts vétérinaires et les sociétés de biotech à lancer des programmes de recherche génétique et des essais cliniques sur de nouveaux médicaments. Objectif : rallonger la période où l'animal vieillit en bonne santé.

Par Chisato Goya

Et si le vieillissement chez le chien ou le chat était un processus modifiable tout au long de sa vie adulte ? S'il ne se résumait pas à un déclin des capacités physiques et mentales, couplé à une hausse du risque de comorbidité ? C'est l'idée exposée par une étude, fin 2025, dans le *Journal of the American Veterinary Medical Association* (*Javma*). Objectif : rallonger la période où l'animal vieillit en bonne santé. « *Le vieillissement des animaux de compagnie est un sujet qui monte, le marché va devenir important, dans un contexte où la médecine vétérinaire progresse. On fait désormais des dialyses pour les chats* », note Sara Hoummady, vétérinaire et enseignante-chercheuse à l'école vétérinaire d'UniLaSalle à Rouen, et coautrice de l'étude.

En France, entre 1996 et 2022, l'espérance de vie du chat est passée de 8 à 11,9 ans, et de 11,8 à 12,7 ans pour le chien, selon une étude de la Fédération des fabricants d'aliments pour chiens, chats, oiseaux et autres animaux familiers (Facco) avec l'institut Kantar, qui a pris en compte toutes les causes de décès, incluant les accidents sur la voie publique. Les raisons de cet allongement sont multiples : la stérilisation et la castration, qui constituent un facteur protecteur face au risque de cancer du système reproducteur ; l'amélioration de l'alimentation ; la généralisation des soins vétérinaires ▸

Nombre de chiens et chats en Europe

SOURCE : FEDIAF, 2023

dont les vaccins ; le statut du chien et du chat considérés désormais comme des membres de la famille, etc.
Aujourd'hui, les recherches sur la longévité sont plus avancées chez le chien que chez le chat. *« Le chien est depuis longtemps un modèle d'étude pour l'humain. Il partage notre vie à la maison et dehors, c'est un omnivore opportuniste. Il est bien plus adapté à la vie en milieu domestique que le chat »*, observe Concetta Amato, vétérinaire spécialisée en nutrition animale et responsable de la communication scientifique chez Royal Canin France. Chez les canidés, la première piste explorée consiste à traiter les racines du problème en sélectionnant certains marqueurs génétiques associés à la longévité lors de l'élevage. En effet, les études montrent une corrélation négative entre le poids du chien et sa longévité parmi plus de 300 races. Selon une étude britannique publiée en 2024 par des chercheurs issus principalement de la Dogs Trust (la plus importante association de protection canine du Royaume-Uni), la taille, la forme du museau et le sexe ont un effet sur la longévité du chien. Ainsi, un bouledogue anglais mâle de taille moyenne au museau plat présente près de trois fois plus de risques d'avoir une espérance de vie plus courte qu'un lévrier nain femelle au museau allongé.
« De nombreuses régions chromosomiques associées au poids ou à la taille, et donc à la longévité, ont déjà été sélectionnées par les éleveurs pour répondre aux standards de poids et de race. Les éleveurs ne peuvent donc plus jouer sur ces gènes pour augmenter la longévité », rappelle Benoît Hédan, vétérinaire et ingénieur de recherche au CNRS. Or, certaines races de chiens ayant le même poids peuvent avoir des longévités différentes. D'autres régions, sur les chromosomes 2, 14, 19 et 27, associées à la longévité standard de la race mais indépendantes du poids, ont ainsi été identifiées dans le cadre d'un projet de recherche financé par la Centrale canine, l'association qui gère les races de chiens en France depuis 1881, et l'assureur suédois pour animaux de compagnie Agria, avec 540 chiens appartenant à 27 races. Deux d'entre elles, sur les chromosomes 19 et 27, sont aussi impliquées dans la longévité chez l'humain. Les éleveurs pourront donc les sélectionner.

Des chiens supercentenaires passés au crible de la génétique

Et ce n'est pas tout. Comme chez l'humain, au sein d'une même race, il existe des « supercentenaires », des individus qui bénéficient d'environ quatre ans de plus que l'espérance de vie moyenne de leurs congénères. Les chercheurs ont mis en évidence deux ou trois nouvelles régions chromosomiques, partagées entre de nombreuses races, impliquées dans cette longévité extrême. Un second projet de recherche appelé « GolDogs » soutenu par France Génomique (une structure rassemblant la majorité des plateformes de séquençage et de bio-informatique françaises au sein d'un consortium coordonné par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives), impliquant le séquençage de 100 chiens représentant 25 races, permettra d'identifier les mutations liées à ce phénomène. *« On continue la validation de ces régions identifiées, en recrutant des chiens âgés dans d'autres races »*, précise Benoît Hédan.
La biotech américaine Loyal, qui œuvre pour prolonger l'espérance de vie en bonne santé des chiens, a choisi une approche différente. Sa cible pour le développement de deux médicaments : IGF-1, une hormone qui stimule la croissance cellulaire et dont la voie est connue pour être impliquée dans la longévité de la levure, de la mouche, de la souris, mais aussi de l'humain et du chien. *« Les chiens de (très) grande taille présentent des taux d'IGF-1 jusqu'à 28 fois supérieurs à ceux des petits chiens. Or, un taux élevé d'IGF-1 favorise la croissance des chiens quand ils sont jeunes, mais cette accumulation à l'âge adulte*

FRÉDÉRIC COURTOIS

3 QUESTIONS À

SARA HOUMMADY VÉTÉRINAIRE ET ENSEIGNANTE-CHERCHEUSE EN ÉTHOLOGIE/NUTRITION DES CARNIVORES À L'ÉCOLE VÉTÉRINAIRE D'UNILASALLE À ROUEN.

« Il faut réadapter l'alimentation et les activités »

Comment garder son animal vieillissant en bonne santé et espérer allonger son espérance de vie ?
En faisant des contrôles réguliers chez un vétérinaire pour savoir comment il évolue. Le propriétaire peut apprendre, auprès de son vétérinaire, à palper la masse musculaire et donner une note d'état corporel. Un chien âgé a tendance à moins bouger et à prendre un peu d'embonpoint, alors qu'un chat, dès 10 ans, a tendance à perdre en masse musculaire. Il faudra donc réadapter l'alimentation et les activités.

Comment ?
C'est selon son environnement, sa personnalité et son historique. Avec l'âge, le chat peut digérer moins bien les lipides et les protéines. Il a besoin d'aliments plus riches et plus digestibles. Attention à la viande crue, qui présente un risque sanitaire, d'autant plus lorsque l'animal vieillit.

Et l'activité physique ?
On continue de jouer avec lui et de le stimuler cognitivement, mais on s'adapte : au lieu de courir 15 km avec son chien, on fractionne.

TEXAS A&M UNIVERSITY BY TAMU MARCOM

Le programme Dog Aging Project, aux États-Unis, étudie chez les chiens les effets de la rapamycine, un immunosuppresseur utilisé couramment à des doses élevées pour prévenir les rejets de greffe, et qui, à faibles doses, leur permettrait de vieillir en bonne santé.

semble accélérer le vieillissement. L'idée est de ramener le niveau d'IGF-1 des grands chiens au niveau observé chez les petits », détaille Brennen McKenzie, vétérinaire en chef à Loyal.

L'entreprise, qui a levé plus de 250 millions de dollars depuis sa création fin 2019, fabrique un troisième médicament, un comprimé quotidien à croquer. En phase 3 des essais cliniques dans le processus d'approbation de l'agence américaine du médicament, il est testé dans le cadre d'une étude qui a débuté il y a deux ans, impliquant 1300 chiens recrutés dans 75 cliniques vétérinaires américaines. Son but : ralentir le développement des dysfonctionnements métaboliques (résistance à l'insuline, dysfonctionnement du tissu adipeux et redistribution des graisses, entre autres) dont souffrent les chiens vieillissants et qui détériorent leur qualité de vie. « *Ce médicament imite les effets biologiques de la restriction calorique, qui s'avère efficace pour allonger l'espérance de vie de près de deux ans* », estime Brennen McKenzie.

Une molécule qui ralentit les processus biochimiques

Toujours aux États-Unis, le Dog Aging Project, un consortium de recherche mené par l'université de Washington et la faculté de médecine vétérinaire des sciences biomédicales de l'université de Texas A&M, mise sur la rapamycine pour permettre aux chiens de vieillir en bonne santé. Cet immunosuppresseur, couramment utilisé à des doses élevées pour limiter les risques de rejet en cas de greffe, est testé à faibles doses chez les grands chiens (pesant entre 20 et 25 kg) dans le cadre d'une étude randomisée en double aveugle lancée en 2021 ; elle compte, pour l'instant, près de 260 participants âgés d'au moins 7 ans. Isolée à partir d'une bactérie trouvée dans le sol de l'île de Pâques, la rapamycine agit en inhibant une enzyme de signalisation appelée « mTOR » impliquée dans la croissance, la division et le métabolisme cellulaires. « *Une activité incessante au sein d'une cellule provoque l'accumulation de sous-produits, qui peuvent contribuer au vieillissement des tissus. En inhibant la voie clé mTOR, la rapamycine ralentit la plupart de ces processus biochimiques* », explique May J. Reed, gériatre et professeure à la faculté de médecine de l'université de Washington, l'une des chercheuses principales du Dog Aging Project.

Alors que le blocage de la voie mTOR avait déjà prouvé son efficacité pour augmenter l'espérance de vie des souris dès 2009, deux études pilotes du Dog Aging Project montrent qu'à faibles doses, la rapamycine aurait des bénéfices sur la mobilité, la préservation des fonctions cognitives et de la fonction car-

EUROPE

L'élevage des chiens et chats mieux encadré

La Commission européenne prévoit d'adopter, d'ici à fin 2026, un texte visant à encadrer plus strictement l'élevage des chiens et des chats au sein de l'UE, en interdisant notamment la reproduction et la mise en avant, lors d'expositions ou de concours de beauté, d'animaux présentant *« des caractéristiques morphologiques extrêmes »* : museau ou pattes très courts par exemple. Ces traits esthétiques, obtenus à la suite d'une sélection génétique pratiquée par les éleveurs au fil du temps, entraînent des problèmes respiratoires dont le syndrome brachycéphale, des maladies cardiaques, des troubles oculaires, un risque d'obésité accru, ainsi qu'une espérance de vie réduite. Parmi ces « hypertypes », on retrouve les persans, les munchkin, les Scottish Fold, les carlins ou encore les teckels. La liste de ces traits extrêmes et les races concernées doivent être établies d'ici à 2030, puisque la nouvelle réglementation s'appliquera à partir de mi-2030. En France, il est déjà interdit de reproduire deux Scottish Fold ensemble pour éviter le développement de malformations les plus graves.

JUNIORS/BIOSPHOTO

Les carlins cumulent les problèmes de santé liés à leur sélection génétique.

diaque, sans aucun effet secondaire notable. *« Chez certains chiens âgés, la fraction d'éjection, soit la quantité de sang que le ventricule gauche expulse à chaque contraction, diminue. Avec la rapamycine, elle est passée de la valeur inférieure à la valeur supérieure de la fourchette normale »*, pointe Kate E. Creevy, vétérinaire en chef du Dog Aging Project et professeure en sciences cliniques des petits animaux à l'université de Texas A&M.

Chez les chats, la rapamycine n'est pas encore testée à des fins de longévité. *« Mais deux essais cliniques distincts examinent ses bénéfices pour traiter la cardiomyopathie hypertrophique et l'insuffisance rénale chronique, des maladies fréquentes chez les chats âgés et qui peuvent écourter leur vie »*, indique Christine Pye, vétérinaire à la Feline Healthy Aging Clinic de l'université de Liverpool (Royaume-Uni), qui suit le vieillissement de 240 chats âgés d'au moins 7 ans depuis 2017, dans le cadre de l'étude CatPAWS.

Détecter le « syndrome de fragilité » des chats

En vieillissant, les chats présentent des comorbidités, tout comme l'humain. *« Seuls 4 % des chats de la cohorte n'ont développé aucune anomalie, mais ce chiffre inclut ceux dont on a perdu le suivi. Environ 80 % ont des anomalies à l'examen orthopédique, 59 % des murmures cardiaques, 20 % de l'hypertension »*, poursuit-elle. Une piste pour prolonger la période où les chats (et les chiens) vieillissent en bonne santé serait de détecter le syndrome de fragilité, selon Sara Hoummady : *« C'est un état de sensibilité, mais théoriquement réversible entre le vieillissement normal et le handicap. Un animal fragile, indépendamment de son âge, présente une vulnérabilité accrue face à une dégradation de son état de santé, mais aussi au décès. »*

En plus de la race et du sexe, qui ont un impact sur la longévité des chats, la perte de la masse musculaire s'avère un facteur prédictif, qui contribue à la fragilité. *« Les chats présentant une perte de la masse musculaire entre 7 et 10 ans ont deux fois plus de risque de mourir au cours de l'étude que ceux n'en ayant aucune. D'où la nécessité de la préserver »*, précise Christine Pye. Pour les chats d'intérieur, un levier serait l'exposition au bruit : *« Un stress élevé dû au bruit perturbe l'équilibre hormonal, le cortisol affaiblit le système immunitaire, ce qui peut entraîner des infections respiratoires, des troubles gastro-intestinaux et donc avoir un impact sur l'espérance de vie »*, détaille Dae Sung Yoo, directeur du département de médecine prévétérinaire à l'université nationale de Chonnam (Corée du Sud). ■

CHRISTINE PYE

« Les chats présentant une perte de la masse musculaire entre 7 et 10 ans ont deux fois plus de risque de mourir au cours de l'étude »

Christine Pye, vétérinaire à la Feline Healthy Aging Clinic de l'université de Liverpool (Royaume-Uni)

MATHIEU FOULQUIÉ / BIOSPHOTO

« Anguilla anguilla » (anguille européenne) présente aujourd'hui un stock inférieur de 95 % à celui observé dans les années 1970.

Entre barrages et quotas, l'anguille étouffe

Cette espèce, classée en danger critique d'extinction, est victime de surpêche et son cycle de reproduction est menacé par les barrages sur les rivières qui perturbent sa migration. Des dispositifs ingénieux permettent cependant de lui rendre sa liberté.

Les pêcheurs à la ligne ont fait reculer le gouvernement. Le 2 mars dernier, le projet de décret encadrant le statut de l'anguille a été suspendu. La Fédération nationale de la pêche en France (FNPF) s'est insurgée contre le moratoire sur la capture de ce poisson visant les seuls 1,5 million d'adhérents de ses 3 400 associations locales. La mesure d'interdiction des amateurs ne concernait pas les quelques bateaux professionnels toujours autorisés à prélever les civelles (ou pibales, dans le Sud-Ouest), ces alevins qui remontent les estuaires pour peupler les rivières. Les pêcheurs du dimanche exigent donc une égalité de traitement. *« Soit l'anguille est interdite à tout le monde, soit à personne ! »* s'insurge ainsi Jean-Paul Doron, vice-président de la FNPF.

L'esclandre met en lumière la gestion chaotique d'une espèce classée en danger critique d'extinction par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), le stock actuel d'*Anguilla anguilla* étant inférieur de 95 % à ce qu'il était dans les années 1970. Les

amateurs font remarquer qu'ils n'ont droit de pêcher ni la civelle, ni l'anguille argentée, celle qui, après des années d'engraissement, descend les rivières pour aller se reproduire dans la mer des Sargasses, zone de l'océan Atlantique au large de l'Amérique du Nord. Seule l'anguille jaune — adulte sexuellement immature — leur est permise. Mais, selon une évaluation de 2006, la pêche de loisir en prélève près de 700 tonnes par an. Le quota de prélèvement des professionnels passe, lui, de 55 tonnes en 2025 à 43 tonnes en 2026. Une paille ? On pourrait le penser, mais *« il faut 3000 civelles pour faire un kilo. C'est donc un prélèvement potentiel de plus de 50 000 tonnes d'anguilles adultes que représente cette pêche des estuaires »*, corrige vite Hilaire Drouineau, chercheur à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae). Or, l'avis scientifique émis par le Conseil international d'exploration de la mer en 2022, et réitéré le 4 novembre 2025, prône que le bon quota, c'est zéro.

JEREMIE LUSSEAU / HANS LUCAS POUR LE MONDE

Des campagnes de repeuplement sont organisées chaque année, afin de déverser des civelles par centaines de kilos dans les zones les plus propices à leur croissance.

Des estuaires aux rivières, un périple de plusieurs mois

Cette surpêche n'est cependant pas la seule responsable de la situation de l'espèce. Son cycle de vie aventureux (*lire l'encadré ci-dessous*) l'expose à de multiples pressions. La hausse de la température des mers et les changements de courants océaniques affectent la reproduction et la dérive des larves à travers l'Atlantique. Dans les rivières, les femelles concentrent dans leur graisse les diverses pollutions chimiques, avec des effets sur la reproduction. Enfin, leur périple des estuaires aux rivières, qui peut durer plusieurs semaines, voire plusieurs mois, et leur retour à la mer des années plus tard sont perturbés par de multiples obstacles. Une question bien plus ardue que la rédaction d'un simple arrêté. *« De la pile de pont au barrage hydroélectrique, on dénombre un obstacle à l'écoulement de l'eau tous les 4 km en moyenne sur les 500 000 km de rivières du territoire français,* rappelle Pierre Sagnes, chef du pôle de R&D en écohydraulique à l'Office français de la biodiversité (OFB). *Certains barrent totalement la rivière et empêchent les poissons de remonter ou descendre le cours d'eau.* » Ces barrages servent de réserve d'eau ou de production d'électricité par le turbinage du courant. Ils modifient le profil des rivières, pour certains depuis la fin du Moyen Âge.

Afin de déterminer les rivières prioritaires pour l'espèce, il a d'abord fallu observer la présence du poisson et les densités de population. *« C'est une information que l'on obtient grâce à des modèles numériques basés sur des observations de terrain, comme les pêches électriques, qui permettent d'assommer temporairement les poissons sur un tronçon de rivière afin de compter les espèces et d'en mesurer la taille, le poids et le degré de maturité »*, révèle Hilaire Drouineau. Il existe ainsi 1700 points d'observation de ce type sur les cours d'eau de France. Il s'est agi ensuite d'étudier l'impact des ouvrages sur les habitats aquatiques. Une retenue peut provoquer une zone d'eaux calmes en amont et de fortes vitesses de courant à l'aval des turbines qui produisent l'énergie. *« Pour les civelles qui ont de faibles capacités de nage, ce courant fort devient impossible à vaincre, tandis que les anguilles argentées qui dévalent* [vont d'amont en aval] *vers la mer peuvent être désorientées dans des zones calmes ; ou suivre des veines de cou-*

REPRODUCTION

Une migratrice mondiale sous pression locale

L'anguille pratique la « panmixie ». Pour s'accoupler, les femelles à vie longue de la mer Baltique retrouvent les jeunes mâles de Méditerranée en mer des Sargasses. Et c'est de là que repartent les civelles pour coloniser indifféremment les rivières du continent, favorisant ainsi la diversité génétique de l'espèce. La France accueille cependant 90 % des remontées d'alevins et de dévalaison des reproducteurs. L'Hexagone a donc une responsabilité particulière, notamment sur les estuaires de la Loire, de la Charente et de l'Adour. Malgré le mauvais état de l'espèce, sa pêche reste pourtant autorisée. L'interdire, c'est le combat d'Ethic Océan, présidée par le biologiste Gilles Bœuf et parrainée par le cuisinier Olivier Roellinger qui a mobilisé 3500 de ses collègues « *conscients que la gastronomie ne peut se faire au détriment de la biodiversité* ».

rant qui les mènent vers la turbine, avec de grandes chances de se faire hacher », résume le chercheur.

La meilleure des solutions, c'est donc de détruire totalement les ouvrages, ce qui permet non seulement d'éliminer l'obstacle, mais aussi de retrouver des habitats aquatiques plus courants. Il existe quelques exemples de projets réussis, comme celui de la Sélune, fleuve côtier de la baie du Mont-Saint-Michel (Manche), où EDF a accepté de détruire un barrage hydraulique. Mais dans la majorité des cas, il faut composer avec la production d'électricité ou les autres activités, en construisant, par exemple, des « passes à poissons ». Nourri par des centaines d'heures d'observation, ce secteur du génie écologique mêle le comportement biologique de l'animal et les équations de la dynamique des fluides. *« Pour les civelles, des plans inclinés recouverts de brosses leur permettent de ramper, tandis que pour les anguilles argentées, des grilles devant les turbines sont une solution très efficace »*, assure Pierre Sagnes.

Des grilles sont inclinées ou orientées devant les turbines

Ces dernières, arrivées à maturité sexuelle, n'ont pas de temps à perdre. Désormais dépourvues de système digestif, elles doivent accomplir une mission ardue : revenir au plus vite vers la mer des Sargasses, à plus de 7000 km, pour s'y reproduire. Tout retard met en péril cette mission. Les grilles, qui ont nécessité des heures d'étude, sont inclinées ou orientées dans le courant, avec des espacements de l'ordre de 2 cm pour arrêter les anguilles, assurer une vitesse maximum de courant de 50 cm par seconde à proximité de la grille (pour éviter que l'anguille ne s'y écrase) et diriger le poisson vers un itinéraire de contournement. Le prix de ces aménagements varie de quelques milliers d'euros pour certaines brosses à plusieurs dizaines de milliers d'euros pour les grilles les plus complexes.

Les ingénieurs travaillent aussi à l'adaptation des barrages. Des turbines du type « vis sans fin » n'affectent pas le passage des poissons, de même que les turbines « very low head » (VLH), qui tournent assez lentement pour que les anguilles puissent se faufiler sans dommages. Les gestionnaires programment également des arrêts temporaires d'exploitation pour laisser passer les poissons, ce qui implique de mieux connaître leurs habitudes. *« Les anguilles argentées dévalent principalement la nuit en automne et en hiver et l'on cherche ainsi à déterminer les plages horaires et les périodes où les passages risquent d'être nombreux, pour arrêter ou ralentir les turbines et laisser passer les poissons au détriment de la production »*, détaille Pierre Sagnes. C'est ainsi que procède par exemple l'énergéticien Unite-Hydrowatt au barrage de Poses (Eure), sur la Seine, en aval.

DENIS BRINGARD / BIOSPHOTO

Pour protéger les poissons migrateurs, des dispositifs sont mis en place, telle cette « passe à poissons ».

97 anguilles équipées de puces ont été suivies durant deux ans

Pour vérifier que ces équipements fonctionnent, une équipe de l'OFB a équipé de puces 97 anguilles, qu'on a pu suivre le long de la Dronne, sous-affluent de la Dordogne au cours très fragmenté par des barrages. Ils ont confirmé l'effet bloquant des obstacles sur la dévalaison des reproducteurs et documenté l'efficacité des passes. C'est la technique de « radiotracking » (radiopistage) qui a été utilisée pour le suivi pendant deux ans des évolutions d'anguilles vivant dans les eaux de l'Ariège. Cofinancée par EDF, cette étude a permis d'évaluer l'efficacité des passes de dévalaison. Résultat très satisfaisant : 97 % des individus enregistrés avaient passé sans encombre l'obstacle des barrages hydroélectriques.

Ces travaux sont peu spectaculaires et les pêcheurs amateurs ont beau jeu de dénoncer leur rôle de bouc émissaire. *« Nous voyons encore trop d'ouvrages situés très en aval des fleuves qui n'ont pas été adaptés aux espèces migratrices,* s'agace Jean-Paul Doron. *Les travaux de restauration des rivières traînent. »* Chercheurs et gestionnaires plaident que la tâche est de grande ampleur. Et que demain ne sera pas plus facile… *« Nous avons traité les obstacles là où il n'y avait ni contestation ni enjeux économiques,* concède Pierre Sagnes. *Désormais, ce sont les projets les plus compliqués qu'il va falloir traiter, au moment où les subventions sont en baisse. »* Le retour de l'anguille s'annonce de plus en plus difficile. ■

Loïc Chauveau

PIERRE SAGNES

« On dénombre un obstacle à l'écoulement de l'eau tous les 4 km sur les 500 000 km de rivières du territoire français »

Pierre Sagnes, chef du pôle de R&D en écohydraulique à l'Office français de la biodiversité

MARC-ANDRÉ SELOSSE
BIOLOGISTE AU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, À PARIS

« Le gigantisme agricole laisse des cicatrices dans les sols »

Le spécialiste de la microbiologie des sols alerte sur les dégâts causés par des machines agricoles toujours plus lourdes. Pour lui, l'agriculture sans labour peut permettre de refertiliser les terres meurtries.

En marge du dernier Salon de l'agriculture, les visiteurs ont pu découvrir de nouvelles machines agricoles toujours plus lourdes et puissantes. Quel est l'impact du gigantisme croissant de ces engins sur les sols ?

Cette évolution résulte d'une course au rendement — qui s'accompagne de l'utilisation exponentielle d'énergies fossiles — et de la désaffection pour les professions agricoles. Faute de main-d'œuvre, les agriculteurs n'ont d'autre choix que de recourir à des outils pour y suppléer. Le poids des machines agricoles répond d'abord à des normes de sécurité : plus on a de poids réparti vers le bas, plus la stabilité est assurée. Pendant longtemps, la disponibilité d'une énergie peu chère a aussi favorisé l'augmentation de leur poids. Si ces machines géantes ne sont pas nécessairement plus lourdes à l'échelle d'un hectare traité, elles le sont localement, sous la roue. Sur le terrain, on observe d'une part des petits engins qui circulent à plusieurs reprises et exercent une pression modérée mais répétée sur le sol, d'autre part des équipements de grande envergure — comme les très larges bras d'épandage — qui concentrent fortement la charge en un point donné, et font gagner du temps de travail. Ils affectent moins de surface, mais marquent les sols plus longtemps.

BIO EXPRESS

- **1968 :** Naissance à Paris.
- **1991 :** Agrégation de sciences naturelles à l'École normale supérieure, à Paris.
- **1998 :** Doctorat en biologie sur la génétique des populations de champignons à l'Institut national de recherche agricole de Nancy.
- **2004 :** Professeur à l'université de Montpellier, chercheur au Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive.
- **2013 :** Professeur au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, où il dirige aujourd'hui l'équipe Interactions et évolution végétale et fongique.

Comment peut-on exercer une pression moindre sur les sols ?

Il ne s'agit pas de revenir à la traction animale, mais de s'en inspirer. Les animaux de trait opèrent des pressions beaucoup plus élevées que les engins agricoles, mais de manière extrêmement ponctuelle. Un phénomène de décompaction par la vie du sol se fait à partir des bords des traces de sabots, ce qui résout rapidement le problème. En revanche, les compactions larges et linéaires des pneus laissent des traces dans la porosité des sols qui peuvent durer deux à trois ans en sols agricoles, et jusqu'à des dizaines d'années dans les sols forestiers plus vulnérables.

Quels outils faudrait-il alors utiliser pour les préserver ?

Il existe trois grandes approches. La première repose sur l'utilisation d'engins équipés de pneus à pression variable. Sur route, mieux vaut circuler avec des pneus bien gonflés pour réduire la consommation d'énergie. Une fois arrivé dans la parcelle, l'agriculteur diminue la pression : les pneus s'élargissent et s'affaissent, ce qui répartit mieux le poids de l'engin et limite la compaction du sol. On peut aussi utiliser des engins équipés de chenilles, notamment en viticulture : les chenilles permettent de mieux répartir la charge dans les inter-rangs. Une troisième piste, compatible avec les précédentes, serait de concevoir des machines agricoles plus légères, une évolution encouragée par l'augmentation du prix du carburant.

QUENTIN HOUDAS/ OPALE/ LEEXTRA

« Les compactions des pneus laissent des traces qui peuvent durer deux à trois ans en sols agricoles, et jusqu'à des dizaines d'années dans les sols forestiers plus vulnérables »

Qu'est-ce qui rend les sols poreux ?
La porosité la plus efficace est celle produite par les organismes, des bactéries et champignons aux vers et taupes, qui créent des pores en se déplaçant, en grandissant et en mourant. Le déplacement est réalisé par certaines bactéries, amibes et autres animaux. La croissance et la mort concernent notamment les filaments de champignons et les racines. Dans tous les cas, lorsque ces organismes pénètrent le sol, ils exercent une pression qui tasse les parois des galeries. De plus, ils y déposent de la matière organique : résidus morts, déjections d'amibes, fèces, qui vont encoller et stabiliser les bords des galeries. Les plus gros pores permettent la circulation de l'eau et l'entrée de l'air, tandis que les plus petits retiennent l'eau par capillarité. Ensemble, ces pores favorisent l'activité biologique qui conditionne la fertilité. Par comparaison, le labour produit des cavités grossières, dépourvues de ce fin « tartinage » organique. La structure obtenue, plus instable, conduit à des sols qui se tassent plus facilement et qu'il faut donc labourer tous les ans.

Et quand la terre est trop compacte, que se passe-t-il ?
De manière transitoire, l'air et l'eau ne circulent plus correctement, ce qui est dommageable aux végétaux et aux organismes des sols et, de ce fait, à la mobilisation des éléments fertiles. Or, c'est cette vie qui permet la décompaction : à partir des bords des traces, les organismes recolonisent, recréent des pores et rendent progressivement le milieu à nouveau habitable. En aérant le sol, le labour favorise aussi la respiration des bactéries, trop petites pour être directement affectées par le passage des machines. Leur capacité à se nourrir est limitée par la disponibilité d'air dans le sol, mais quand celui-ci est plus aéré, leur activité s'intensifie et elles décomposent plus rapidement la matière organique qui stabilisait pores et galeries, fragilisant davantage encore la structure du sol.

Peut-on cultiver sans labourer ?
C'est ce que faisaient les peuples précolombiens, qui n'avaient ni animaux de trait ni fer pour construire des socs de charrue. C'est aussi ce que pratique l'agriculture dite régénérative. Les sols plus poreux sont mieux drainés après la pluie et stockent davantage d'eau pour la période estivale. Par ailleurs, en agriculture sans labour, on pratique des semis d'intersaison. Il s'agit souvent de couverts végétaux mélangés, où chaque plante a un rôle : les racines des radis perforent le sol, les légumineuses fixent l'azote, les phacélies captent le phosphore et le nitrate, etc. On inclut parfois des plantes dont les fleurs attirent des insectes utiles. Elles nourrissent les microbes et limitent l'érosion. Juste avant les semailles de récolte, ce couvert est détruit et laissé sur place pour enrichir le sol. Le principal défaut de cette méthode est l'utilisation du glyphosate pour faire table rase de toutes les plantes avant le semis. Aujourd'hui, la conversion à l'agriculture non labourée demeure toutefois anecdotique en France, avec 4 % de la surface agricole, contre 40 % aux États-Unis. ■

Propos recueillis par Sylvie Rouat

GARO/PHANIE

Cumulant souvent plusieurs pathologies différentes, les personnes âgées se voient prescrire un très grand nombre de médicaments. Or, faute de réévaluation des ordonnances, les risques associés à la polymédication peuvent l'emporter sur les bénéfices attendus.

Médicaments

Le piège des ordonnances à rallonge

Chez les personnes âgées, l'accumulation de traitements est devenue la norme. Pourtant, l'association de plusieurs molécules, souvent prescrites par différents praticiens, expose à des effets indésirables, des interactions imprévues et des hospitalisations évitables. Un enjeu croissant de santé publique, encore mal maîtrisé. Comment mieux contrôler la polymédication ? « Sciences et Avenir » a mené l'enquête.

Par Marie-Cécilia Duvernoy

Les piluliers de nos aînés sont bien remplis, c'est un fait. Antidouleurs, médicaments pour la santé cardiovasculaire ou digestive, antidiabétiques, anxiolytiques, somnifères ou antidépresseurs, etc. Pris séparément, chacun d'entre eux est censé améliorer la santé du patient. Mais les effets d'une prise simultanée restent méconnus, en particulier chez les seniors dont le métabolisme est modifié. En utilisant les données de l'Assurance-maladie, des chercheurs du groupement d'intérêt scientifique de pharmaco-vigilance EPI-Phare ont mesuré qu'entre 2011 et 2019, presque la moitié des plus de 75 ans avait pris au moins cinq médicaments différents, potentiellement en même temps, au cours des trois derniers mois. Chez les plus de 90 ans, c'était les trois quarts en 2022. Cette polymédication atteint même le cas extrême de 10 médicaments ou plus chez un quart des plus de 75 ans et un tiers des plus de 90 ans. Des prescriptions multiples qui peuvent présenter des risques. Une méta-analyse australienne et néo-zélandaise de 2010 estimait ainsi que 6 à 30 % des hospitalisations de seniors seraient liées aux interactions médicamenteuses et qu'elles auraient pu être évitées dans 30 à 55 % des cas.

En France, plus d'une personne sur cinq a plus de 65 ans et, à l'échelle mondiale, le nombre de soixantenaires et plus devrait doubler d'ici à 2050 selon l'OMS, pour dépasser les 2 milliards d'individus. Si l'augmentation de l'espérance de vie est indéniablement liée aux progrès de la médecine moderne, et au meilleur traitement des pathologies qui se développent avec l'âge, gérer la multipatho- ▸

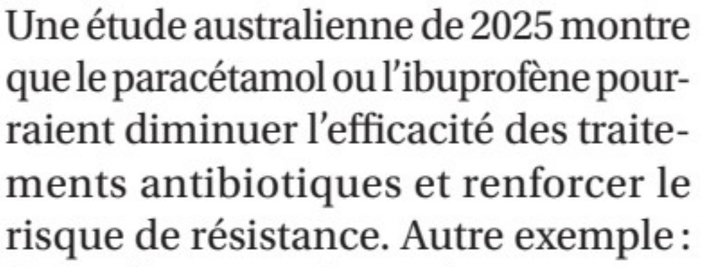
logie reste un défi. Les personnes âgées sont particulièrement vulnérables. La majorité des individus âgés de 90 ans et plus ont des comorbidités comme l'hypertension (3 sur 4), les maladies cardiovasculaires (1 sur 2) ou la démence (1 sur 5). *« Plus on a de pathologies différentes, plus on est susceptible d'avoir un nombre de médecins important,* décrit Sylvain Pichetti, chercheur à l'Institut de recherche et documentation en économie de la santé (Irdes). *Généraliste et spécialistes, chacun va vouloir prescrire, et on se retrouvera avec plein de médicaments.* »

L'ibuprofène peut provoquer des hémorragies

Parfois, ces prescriptions à rallonge sont inévitables et nécessaires pour assurer la bonne santé du patient. Mais dans d'autres cas, des médicaments superflus ou incompatibles entre eux s'invitent dans le pilulier, sans qu'aucun médecin n'ait validé le traitement dans son ensemble. Effets secondaires, erreurs de prises et oublis, interactions médicamenteuses, ou encore molécules inadaptées au métabolisme des personnes âgées : si l'on n'y prend pas garde, les risques associés à la polymédication peuvent dépasser les bénéfices pour le patient. *« Certains médicaments communs chez le sujet âgé donnent lieu à des interactions ou une potentialisation des effets indésirables »*, pointe Mahmoud Zureik, directeur d'EPI-Phare. Une étude australienne de 2025 montre que le paracétamol ou l'ibuprofène pourraient diminuer l'efficacité des traitements antibiotiques et renforcer le risque de résistance. Autre exemple : ibuprofène et anticoagulants peuvent tous deux provoquer des hémorragies, un risque qui s'accroît s'ils sont pris en même temps. *« L'ibuprofène à répétition, on peut parfois s'en passer. Il faut voir pour quelle indication il est donné et s'il y a des alternatives »*, estime le chercheur clinicien dont la ligne directrice est d'utiliser un médicament *« uniquement quand c'est nécessaire »*.

Les 5 médicaments les plus prescrits en France chez les plus de 90 ans

Pourcentage de prescription par médicament



SOURCE: JAMDA 2025, DONNÉES DE 2022

Des traitements préventifs, aux effets pas toujours bien documentés, viennent aussi alourdir les ordonnances. C'est le cas de la vitamine D — présente sur une ordonnance sur deux des plus de 90 ans sans qu'il y ait nécessairement de carence avérée — ou des statines, prescrites pour réduire les risques d'accidents cardiovasculaires sur le long terme en limitant le mauvais cholestérol. *« Pour quelqu'un qui a 90 ans et une espérance de vie de 2 ans, il n'est pas raisonnable de prescrire de la statine à visée préventive. C'est un médicament dont l'effet bénéfique hypothétique serait à plusieurs années, qui peut accumuler des effets indésirables, et dont on ne connaît pas le bénéfice. En revanche, le risque, on le connaît »*, déplore le directeur, qui note qu'*« aucune étude n'a montré qu'à cet âge-là on prévenait les maladies cardio-*

PSYCHOTROPES

Le danger des benzodiazépines

C'est la prescription inadaptée aux personnes âgées la plus répandue. Un quart des seniors en consomme et la moitié d'entre eux en ferait un usage chronique, dépassant largement la durée maximale d'utilisation de trois mois préconisée par la Haute Autorité de santé. À tout âge, les Français sont particulièrement friands de ces médicaments psychotropes prescrits comme anxiolytiques ou somnifères, mais *« chez les sujets âgés, ils vont rester plus longtemps dans le système sanguin et provoquer plus de somnolence et de confusion »*, explique Solène Drusch, pharmaco-épidémiologiste. Une utilisation dans la durée entraîne accoutumance, troubles de la mémoire et chutes. Ce risque est accentué par certaines formulations à longue durée d'action, qui restent encore plus longtemps dans l'organisme, mais sont néanmoins en recul ces dernières années. *« Provoquer des chutes chez les personnes âgées, c'est prendre le risque que la personne soit hospitalisée et qu'elle finisse par quitter son domicile »*, pointe Sylvain Pichetti, chercheur à l'Irdes. Bonne nouvelle, toutefois, la consommation de benzodiazépines est en légère baisse. Elle est passée de 28 % à 23 % chez les plus de 65 ans entre 2012 et 2022, notamment grâce à des politiques de déremboursement des molécules à effet prolongé. Mais l'essai reste à transformer en privilégiant autant que possible des alternatives non médicamenteuses pour traiter la dépression, l'anxiété et les troubles du sommeil chez les personnes âgées.

Souvent exclues des essais cliniques, les personnes âgées sont traitées avec des médicaments standards décrits parfois comme « agressifs » car conçus pour des populations plus jeunes, faute de données adaptées à leur profil (ici dans un Ehpad à Lille).

CYRIL BITTON/DIVERGENCE / BSIP

vasculaires avec ce type de médicaments ». La réalité, c'est que les informations manquent pour soigner adéquatement les seniors. « *Les personnes âgées sont souvent exclues des essais cliniques parce qu'elles ont potentiellement d'autres maladies et ne vont pas répondre à tous les critères d'inclusion* », souligne Solène Drusch, pharmaco-épidémiologiste, qui a publié trois études sur la médication des 75 ans et plus pendant sa thèse. Résultat, les personnes âgées sont souvent traitées avec des standards que Mahmoud Zureik décrit comme « *parfois trop agressifs* » car ils correspondent à des attentes légitimes pour des adultes plus jeunes.

L'élimination des composés chimiques ralentit avec l'âge

Le directeur D'EPI-Phare précise : « *La pression artérielle augmente naturellement avec l'âge, alors on ajoute un médicament, parfois deux ou plus. Pour le diabète, à 90 ans, on n'a pas toujours besoin d'insuline à des doses aussi élevées, parce qu'il y a d'autres risques, comme l'hypoglycémie qui peut faire tomber la personne ou provoquer des complications encore plus graves.* » Au-delà de ces exemples, c'est le métabolisme dans son ensemble qui se modifie avec le temps. La vitesse d'absorption des médicaments au niveau de l'appareil digestif diminue, tout comme l'élimination des composés chimiques, qui ont alors tendance à persister plus longtemps dans le corps. En cause, une fonction rénale affaiblie. Des médicaments souvent prescrits, tels les inhibiteurs de la pompe à proton contre l'acidité gastrique, ralentissent aussi les échanges au niveau de la paroi intestinale. « *Pour beaucoup de médicaments chez les patients âgés, il n'y a pas de données scientifiques solides,* regrette l'épidémiologiste. *Il faut générer des connaissances pour mieux gérer le problème* » dans cette population.

Une des clés pour réduire le risque est de réévaluer la prescription dans son ensemble le plus régulièrement possible,

CYRIL BITTON/DIVERGENCE

« Certains médicaments communs chez le sujet âgé donnent lieu à des interactions ou une potentialisation des effets indésirables »

Mahmoud Zureik, directeur d'EPI-Phare, groupement d'intérêt scientifique de pharmaco-vigilance

MÉDECINE

Pas tous égaux devant la polymédication

En se concentrant sur les benzodiazépines, les chercheurs de l'Irdes ont identifié plusieurs facteurs qui rendent nos aînés plus susceptibles d'obtenir une prescription potentiellement inadaptée à leur âge.

Être une femme : 17 % d'entre elles avaient une prescription inappropriée, contre 10 % des hommes.

Souffrir de troubles psychiques : la moitié des plus de 65 ans souffrant de névroses ou de sautes d'humeur avaient une prescription inappropriée de benzodiazépines.

Vivre en Ehpad : la consommation de benzodiazépines augmente de 10 points à l'entrée dans l'établissement en raison du stress, mais elle est rarement réévaluée par la suite.

Habiter dans certaines régions, notamment en Bretagne, dans les Hauts-de-France, sur le littoral méditerranéen, et dans les territoires où il y a le plus d'anciens ouvriers ou employés.

Consulter un médecin homme et âgé : *« Les médecins qui ont les taux de prescriptions potentiellement inappropriées de benzodiazépines les plus élevés, entre 2015 et 2022, sont en moyenne plus âgés et plus souvent des hommes »*, mentionne une étude publiée dans *Questions d'économie de la Santé* (janvier 2026), une publication de l'Irdes. Un effet qui avait déjà été observé pour d'autres médicaments.

- en tenant compte de recommandations mettant en garde contre certaines prescriptions inappropriées pour les personnes âgées. *« En général, ce sont des consensus d'experts, gériatres, médecins et pharmaciens, qui se sont réunis et ont choisi ces critères. Cela peut être un médicament, une molécule, mais ils peuvent aussi prendre en compte la dose du médicament ou des populations spécifiques, par exemple pour les personnes qui ont une maladie cardiovasculaire »*, détaille Solène Drusch. C'est souvent lors d'un passage à l'hôpital que les ordonnances sont réévaluées, mais en ville les patients polymédiqués peuvent aussi bénéficier de bilans auprès d'un pharmacien. Ceux-ci restent toutefois moins courants car *« chronophages et peu rémunérés au regard de l'activité »*, constate Hugues Michelon, responsable de la pharmacie de l'hôpital Sainte-Périne, à Paris. L'intégration de ces critères aux logiciels de prescription, le dossier médical partagé, ou encore la formation continue sont des leviers pour faire évoluer les pratiques. *« Quand les médecins sont mieux informés de la nocivité de ces types de médicaments, il y a une baisse de la prescription »*, analyse Sylvain Pichetti, qui a par ailleurs mesuré que tous les médecins n'étaient pas égaux dans la qualité de leurs prescriptions. Pour lui, *« c'est aussi une façon de prescrire »* qui est à remettre en cause. *« En France, l'équation "une consultation égale au moins une prescription" est très répandue »*, observe-t-il. C'est le cas dans près de huit visites sur dix, selon une étude de la Drees (Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques) de 2022.

Privilégier la prescription d'activité physique adaptée

Des méthodes non médicamenteuses pourraient pourtant être privilégiées, comme des consultations psychologiques ou la prescription d'activité physique adaptée, pour remplacer les psychotropes prescrits pour l'anxiété, la dépression ou les troubles du sommeil. *« La prescription de benzodiazépines* [psychotropes comme le Xanax ou le Lexomil, *lire l'encadré p. 60*], *c'est rapide, ça ne prend pas trop de temps de consultation et ça ne coûte pas trop cher. C'est une solution très pratique à court terme, mais sa nocivité potentielle pour les patients âgés peut occasionner des coûts de long terme avec les chutes et hospitalisations potentielles. Si on avait une approche de long terme, ce serait mieux de prescrire des alternatives non médicamenteuses »*, note le chercheur.

Or, beaucoup d'entre elles demandent un investissement de personnel plus important, difficile à mettre en œuvre dans un système sous tension. Grâce à une sensibilisation croissante, la prescription de médicaments potentiellement inappropriés aux personnes âgées régresse peu à peu : une ordonnance sur deux en contenait en 2012, contre quatre sur dix en 2019. Malgré tout, pour Mahmoud Zureik, *« c'est une amélioration graduelle timide. À ce rythme-là, il nous faudra de très nombreuses années pour arriver à une cible acceptable. »* ■

S.PICHETTI

« Quand les médecins sont mieux informés de la nocivité de ces types de médicaments, il y a une baisse de la prescription »

Sylvain Pichetti, chercheur à l'Institut de recherche et documentation en économie de la santé (Irdes)

ROGER KISBY/REDUX-REA

En prenant des substances interdites, le nageur Kristian Gkolomeev (ici sur un écran publicitaire à Las Vegas) a officieusement battu le record du 50 m nage libre, gagnant 1 million de dollars dans le cadre d'un entraînement pour les « Enhanced Games ».

Une épreuve sportive pour athlètes dopés

Lors des « Enhanced Games » qui auront lieu le 24 mai à Las Vegas (États-Unis), le dopage est autorisé et même encouragé, sous surveillance médicale. Une compétition controversée mise au service de l'idéologie transhumaniste.

Passer d'une compétition sportive à une compétition pharmacologique, c'est un peu ce que proposent les « Enhanced Games » (« Jeux améliorés », en français). Cet évènement, qui aura lieu le 24 mai à Las Vegas, se dit sportif mais rejette tous les principes du sport. Aux premiers rangs desquels les valeurs de dépassement de soi et d'équité dans la compétition. Lors des Enhanced Games, tous les coups sont permis : le dopage est autorisé et même encouragé. Provocation, affront envers la communauté sportive, l'annonce de l'évènement enflamme les passions et indigne les foules.

Le promoteur en est Aron D'Souza, entrepreneur australien de 34 ans dont le mentor est le multimilliardaire Peter Thiel, figure de la Silicon Valley et du mouvement libertarien, opposant assumé de la démocratie. Celui-ci finance les Enhanced Games aux côtés d'autres investisseurs de sociétés technologiques, et même du fils du président des États-Unis, Donald Trump Jr. L'évènement, initialement prévu sur trois jours avec une centaine d'athlètes, ne fait pas le plein. Au moment où nous écrivons ces lignes, seuls une quarantaine de femmes et d'hommes ont mordu à l'hameçon et accepté de s'affranchir des règles anti-

dopage afin de *« célébrer le potentiel humain »*. Leurs profils ? Des sportifs *« de bon niveau »* concourant plutôt dans des compétitions régionales ; des sportifs de haut niveau retraités ou en fin de carrière, comme Benjamin Proud, 31 ans, nageur britannique, triple champion du monde et médaillé d'argent aux jeux Olympiques de Paris ; et des athlètes en difficulté avec les autorités sportives, tels les sprinters Mouhamadou Fall, un Français de 34 ans, multiple champion de France entre 2019 et 2023, et Fred Kerley, 30 ans, un Américain médaillé aux JO de Tokyo et de Paris.

Les deux ont été exclus des compétitions internationales, après un contrôle positif pour le premier et des rendez-vous de contrôle antidopage manqués pour le deuxième. Qu'y gagnent-ils ? De la publicité et l'espoir d'obtenir une prime de victoire (500 000 dollars par épreuve) ou de record (1 million de dollars pour les records du 100 m en athlétisme ou 50 m en nage libre). *« C'est fou de penser que pour battre un record du monde sans combinaison et sans aucun produit dopant, en tant qu'athlète "propre", ma prime* [à l'Open de Chine] *fut de 0 dollar, alors que si j'avais choisi la voie de la facilité… »*, soupire Cameron McEvoy, tout juste recordman du 50 m nage libre, avant d'évoquer les primes inédites des Enhanced Games. Par comparaison, la fédération mondiale d'athlétisme, une des rares à doter ses compétitions, offrait 70 000 dollars pour un titre et 100 000 dollars pour un record en 2025. L'attraction financière est forte, en particulier dans des disciplines pauvres comme l'haltérophilie.

V. GOURINAT

« Ce franchissement des limites est au cœur du projet transhumaniste, d'où l'importance des records »

Valentine Gourinat, philosophe des sciences à l'université de Strasbourg

Sportifs et médecins retranchés derrière le secret médical

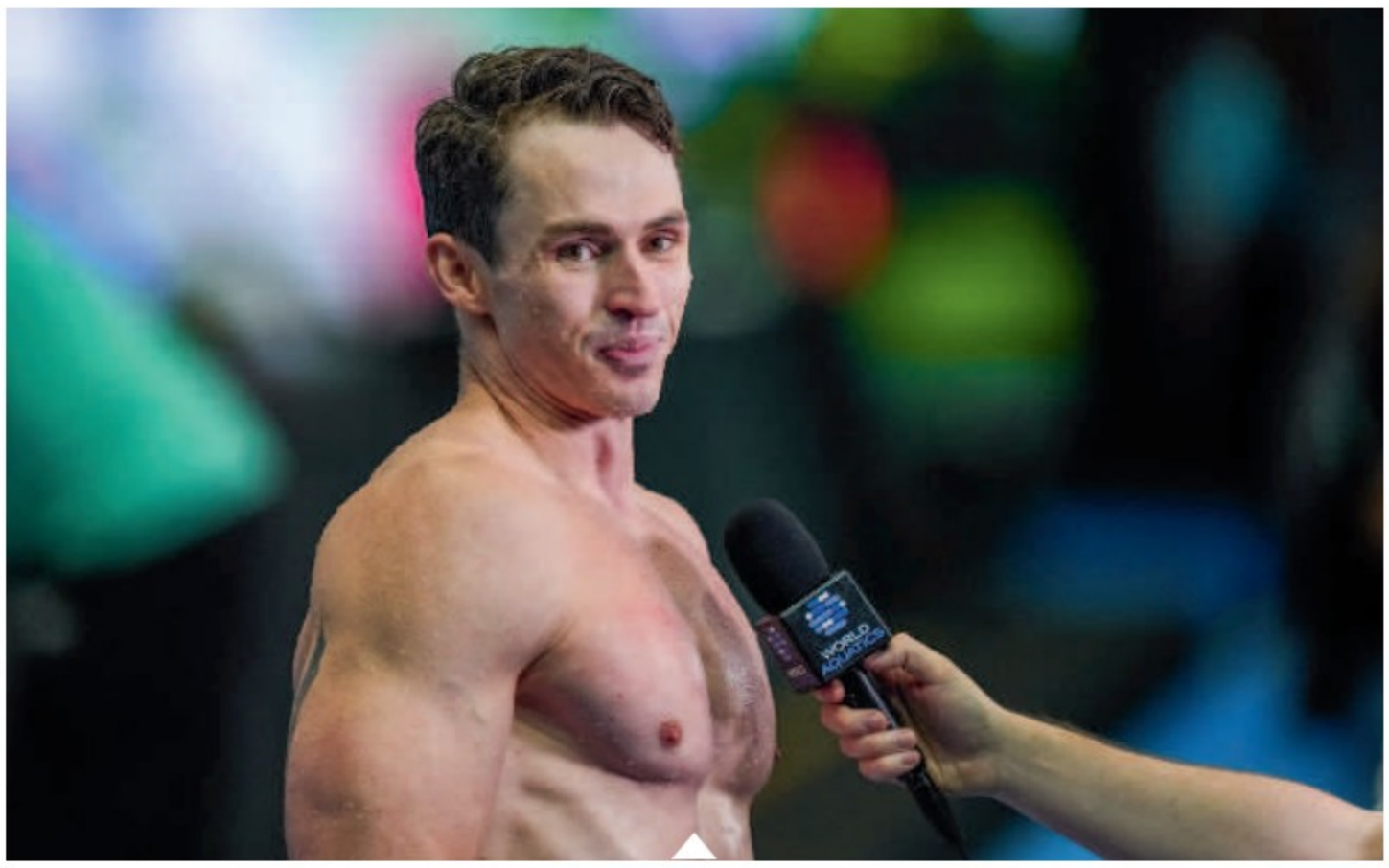
Au-delà du spectacle, les organisateurs prétendent faire avancer la science. D'abord, pour la sécurité des athlètes. *« Nous plaidons pour une utilisation sûre, responsable et supervisée par un professionnel de santé des produits destinés à améliorer les performances »*, peut-on lire sur le site de l'événement. Un comité médical encadre ainsi les protocoles de dopage proposés aux athlètes. Volontaires, les médecins engagés — dirigés par Guido Pieles, cardiologue et ancien expert pour les instances internationales du football professionnel —, feignent d'ignorer la trahison de l'éthique médicale, comme si le dopage était inévitable et qu'ils œuvraient pour le moindre mal. *« Ils regarderont le foie ou les reins, vérifieront que les doses sont bien tolérées sur le moment. Tout le monde ne réagit pas pareil à l'administration de médicaments ou d'autres produits et il faudra adapter le cocktail pour obtenir l'effet dopant. Mais après ? L'athlète sera dans la nature et on ignore largement les effets à long terme du dopage »*, insiste Francesca Rossi, directrice des contrôles de l'Agence française de lutte contre le dopage.

En pratique, de quelles substances parle-t-on ? Tout est permis et les organisateurs promettent une totale transparence. Pourtant, les sportifs interrogés se retranchent derrière le secret médical. *« Il s'agira de molécules agissant sur le système hormonal,*

MÉDECINE

Un essai clinique controversé

C'est à Abu Dhabi, aux Émirats arabes unis, que depuis janvier les athlètes ont été invités, tous frais payés, à se préparer, tant par l'entraînement que par la prise de produits. Malgré la guerre, les organisateurs promettent d'y mener un essai clinique, sous le contrôle du complexe hospitalier Sheikh Shakhbout, et dont les résultats seraient proposés dans une revue à comité de lecture. Mais en avril, aucun protocole n'a encore été publié. *« C'est complètement inhabituel. La norme est de publier le protocole avant le recrutement des participants »*, confirment François Hirsch et François Bompart, membres du comité éthique de l'Inserm. On ignore quels seront les objectifs scientifiques de cet essai et le cadre de protection dont bénéficieraient les athlètes. Les spécialistes précisent : *« Abu Dhabi dispose d'une régulation proche de celle des États-Unis. Ils ont besoin de l'intervention d'un comité éthique. »* Quid de la vulnérabilité économique des participants, de leur accès à une information complète sur les risques liés aux produits, y compris à long terme ? Seuls la France, le Royaume-Uni et la Malaisie disposent d'une loi protégeant les volontaires sains qui, contrairement aux malades, n'ont pas de bénéfices directs à l'administration des produits. Le flou demeure, bien loin des standards de la science moderne.



A. LAPEYRE/ABACAPRESS.COM

Le Britannique Benjamin Proud, 31 ans, champion du monde 2023 du 50 m nage libre, a annoncé sa retraite des bassins pour participer aux Enhanced Games 2026.

F. FAUGERE / PRESSE SPORTS

Mouhamadou Fall, ancien espoir du sprint tricolore, est à ce jour le seul athlète français à participer à cette compétition.

comme des dérivés de la testostérone, des Sarm [modulateurs sélectifs du récepteur aux androgènes, une autre famille d'anabolisants], *des hormones de croissance ou de l'érythropoïétine (EPO)* », prédit Francesca Rossi. On connaît bien les effets négatifs à court et moyen termes de ces produits. Par exemple, la testostérone affecte la fertilité, le foie, l'humeur ; les Sarm sont associés à un risque accru de cancers, ainsi qu'aux troubles métaboliques et cardiaques ; enfin, l'EPO accroît le risque de thrombose — de caillots sanguins —, au point que les sportifs qui l'utilisent doivent se réveiller en pleine nuit pour pédaler et refluidifier le sang. Mais après ? *« On ne sait pas quel effet le dopage a sur l'espérance de vie,* précise-t-elle. *Cette statistique n'existe pas. Et la mort prématurée est très difficile à évaluer quand les personnes sont sorties des circuits sportifs.* » Il est peu probable que les Enhanced Games servent à en savoir plus, tant ils peinent à s'insérer dans le cadre scientifique normal *(lire l'encadré ci-contre).*

Les organisateurs revendiquent l'expertise d'un comité scientifique. À sa tête, on trouve George Church. Ce généticien dirige un laboratoire de biologie synthétique au MIT (Massachusetts Institute of Technology) et multiplie les projets visant à développer les techniques de transformation du vivant. Il est un promoteur du transhumanisme, un courant de pensée selon lequel les capacités physiques et intellectuelles humaines pourraient être accrues grâce aux progrès scientifiques et techniques. Autour de lui, des profils moins académiques, souvent dirigeants de sociétés pourvoyeuses de technologies ou de coachings promettant la longévité.

L'événement banalise l'usage des produits dopants

Les intérêts commerciaux ne sont pas cachés : le site vend directement des produits dopants. Après avoir complété un questionnaire détaillé, pour prétendre aux garanties légales de vérification des antécédents, il est possible de commander des produits, livrables aux États-Unis uniquement. Comptez 199 euros, en promo, pour une cure mensuelle de sermoréline injectable, un précurseur de l'hormone de croissance, ou de NAD+, un coenzyme essentiel à la production d'énergie cellulaire. Le cocktail complet s'élève à 600 dollars par mois. *« On parle d'"hormones peptidiques et de leurs facteurs de libération" »*, précise l'Agence française de lutte contre le dopage. Ils ont entraîné une vingtaine de contrôles positifs en 2024 sur environ 3000 cas, selon l'Agence mondiale antidopage. Les produits ne sont ni approuvés ni évalués par l'agence américaine du médicament. Le marché gris est assumé. D'ailleurs, Robert Kennedy Jr, le ministre américain de la Santé, a exprimé son intérêt pour leur dérégulation.

Mais réduire l'enjeu des Enhanced Games à du commerce serait trompeur. *« Il s'agit de déplacer la norme de l'acceptabilité »*, pointe Valentine Gourinat, philosophe des sciences à l'université de Strasbourg. L'événement banalise l'usage et l'achat de produits dopants. *« Il vise à déplacer la performance attendue, d'où l'importance accordée aux records. Ce franchissement des limites est au cœur du projet transhumaniste »*, poursuit-elle. Peu importe que les sportifs ne soient pas des êtres humains lambda, mais des individus ultra-sélectionnés tout au long de leur carrière. Le spectacle donnera envie au public de s'améliorer et les produits seront disponibles. La science n'est là que pour crédibiliser et légitimer la démarche. ■ **Agnès Vernet**

Le dépistage du cancer du poumon testé en France

Prises à un stade précoce, les tumeurs sont encore opérables. Ce constat a conduit au lancement du premier programme pilote de dépistage national de ce cancer diagnostiqué trop tardivement.

Le plus souvent dû au tabac, le cancer du poumon est la première cause de mortalité par cancer en France comme dans le monde. Mais il peut être traité efficacement, à condition d'être détecté assez tôt. À un stade précoce, les tumeurs sont en effet encore opérables, ce qui améliore nettement le pronostic. C'est ce constat qui mène au lancement, en mai, du premier programme pilote de dépistage national, baptisé Impulsion. Élaboré par l'Institut national du cancer (Inca), il est coordonné par les professeurs Marie-Pierre Revel (AP-HP) et Sébastien Couraud (Hospices civils de Lyon), et s'inscrit dans la stratégie de lutte contre les cancers 2021-2031 de l'Inca. Avec un enjeu majeur : selon les modèles, des centaines, voire des milliers de vies pourraient être sauvées chaque année.

Aujourd'hui, la majorité des cancers du poumon sont encore diagnostiqués tardivement, quand les cellules cancéreuses ont pu diffuser dans l'organisme sous forme de métastases. Au stade symptomatique, avec un essoufflement rapide à l'effort, une toux persistante et parfois des douleurs thoraciques, seuls 20 % des patients diagnostiqués seront encore en vie après cinq ans. Depuis les années 2000, une technologie plus sensible a toutefois changé la donne : le scanner thoracique à faibles doses de rayons X. L'image du thorax, obtenue en 3D, permet de déceler des tumeurs encore invisibles via une radiographie classique ; et la faible dose d'irradiation permet de répéter l'examen pour assurer un suivi régulier des patients. C'est le moyen d'avoir enfin une longueur d'avance sur le développement des tumeurs.

Une chute de la mortalité de 20 à 25 % pour les hommes

En 2010, un premier essai américain de dépistage des cancers du poumon — chez de très gros fumeurs âgés de 55 à 74 ans — a montré que cet examen pouvait réduire la mortalité de 20 % dans cette population à haut risque. Dix ans après, en 2020, l'étude belgo-néerlandaise Nelson confirmait ce bénéfice, avec une baisse de la morta-

L. SIMON / HOSPICES CIVILS DE LYON

« La détection d'un nodule n'impliquera pas forcément la détection d'un cancer, mais des examens complémentaires »

Sébastien Couraud, chef du service de pneumologie aiguë spécialisée et cancérologie thoracique (Hospices Civils de Lyon)

La majorité des cancers du poumon sont diagnostiqués quand les cellules cancéreuses ont migré dans l'organisme sous forme de métastases (vue d'artiste).

S. KAULITZKI/SPL/SUCRÉ SALÉ

lité de 24 % chez les hommes et de 33 % chez les femmes. Des résultats qui ont convaincu les autorités sanitaires britanniques de lancer une première opération de dépistage en population réelle. Cinq ans plus tard, un bilan intermédiaire, publié dans *Nature Medicine*, confirme son efficacité : sur 2,5 millions de personnes invitées, près de 530 000 ont participé et 7193 cancers ont été diagnostiqués, dont les trois quarts à un stade précoce (stades 1 et 2), encore opérables. À Manchester, parmi les premières à participer au programme, la mortalité par cancer du poumon a chuté de 25 % dans les zones dépistées, tout comme les cas de cancers décelés à un stade avancé. Pneumologues, radiologues, chirurgiens et cancérologues ont été sollicités pour prendre en charge l'afflux de nouveaux patients et leurs efforts ont payé.

20 000
volontaires
sont attendus pour participer au premier programme pilote de dépistage national du cancer du poumon lié au tabagisme.

En France, la Haute Autorité de santé et l'Union européenne recommandent depuis 2022 d'expérimenter ce type de stratégie. C'est l'objet du programme Impulsion, lancé cette année pour cinq ans à l'échelle du pays. *« Cinq régions sont déjà en mesure de l'effectuer : Île-de-France, Hauts-de-France, Pays de la Loire, Paca, et Auvergne Rhône-Alpes »*, précise Sébastien Couraud, chef du service pneumologie à l'hôpital Lyon Sud. Pour y participer, il faut avoir entre 50 et 74 ans, une consommation tabagique cumulée d'au moins 20 paquets-années (soit un paquet par jour pendant 20 ans ou 10 cigarettes par jour pendant 30 ans par exemple) et être fumeur ou avoir arrêté de fumer depuis moins de 15 ans. Pour faciliter l'inclusion, un site internet (depistage-cancer-poumon.fr) et une plateforme téléphonique (34 33) ont été mis en place. Une fois inclus, chaque participant bénéficie d'un suivi, avec un scanner de contrôle un an après, puis tous les deux ans, tandis qu'un sevrage tabagique est proposé par le pneumologue ou le tabacologue référent.

Sur les 20 000 participants prévus dans l'étude, près de 2 % de scanners pourraient s'avérer positifs après leurs examens par un radiologue spécialisé assisté d'une IA adaptée. *« Il est important de savoir que la détection d'un nodule n'impliquera pas forcément la détection d'un cancer, mais des examens complémentaires seront à effectuer »*, souligne Sébastien Couraud.

Le taux de participation doit atteindre un seuil minimal

Les images 3D obtenues permettront également de repérer d'autres pathologies liées au tabagisme et enfin, le plus souvent, de rassurer les volontaires sur leur risque de cancer du poumon. *« L'une des difficultés posées par cette étude sera de toucher les populations les plus affectées par le tabagisme, stressées et vivant dans la précarité, qui sont aussi les plus éloignées des dépistages »*, ajoute le professeur. Des camions dotés du matériel et du personnel qualifié pour le dépistage iront à la rencontre de ces publics. Une autre population cible sera les fumeuses, ou ex-fumeuses, chez qui le cancer du poumon connaît la plus forte augmentation de tous les cancers ces dernières années.

Reste une inconnue, et de taille : le taux de participation. En France, celui-ci demeure insuffisant pour les dépistages organisés du cancer colorectal et du sein. Or, un seuil minimal est nécessaire pour espérer réduire significativement la mortalité. Si ce test de dépistage s'avère concluant, un dépistage national du cancer du poumon chez les fumeurs serait lancé au début des années 2030. Il pourrait sauver des milliers de vies, éviter les traitements encore très lourds des stades avancés du cancer, et permettre de substantielles économies à l'Assurance-maladie. ■ **Pierre Kaldy**

Poulet frit : la bombe calorique

Même si cette volaille constitue une bonne source de nutriments, la friture qui l'enrobe multiplie par deux à trois l'apport calorique du produit de départ.

Doré et croustillant à l'extérieur, tendre et juteux à l'intérieur… Le poulet frit est depuis quelques années la nouvelle tendance « street food » (cuisine de rue). Longtemps associé à la cuisine populaire du sud des États-Unis avec le « **Southern fried chicken** » (poulet frit du Sud), et répandu à grande échelle par diverses chaînes, il dépasse aujourd'hui le simple cadre du fast-food.
Faciles à cuisiner et très « instagrammables », les recettes asiatiques (*karaage* japonais, *yangnyeom* coréen) ont le vent en poupe avec leur double (ou triple) friture ultra-croustillante et leur sauce aigre-douce, tout comme le crousty, préparation de poulet frit et de riz nappée d'une sauce piquante ou sucrée à base de mayonnaise.

Le poulet, une viande maigre…

Sans la peau, le filet de poulet est peu calorique (141 kcal/100 g contre 247 kcal/100 g d'ailes de poulet rôties avec la peau) en raison de sa très faible teneur en lipides (2 g/100 g). Il s'agit principalement d'acides gras monoinsaturés (0,78 g/100 g d'acide oléique) et de graisses saturées (acide palmitique 0,58 g/100 g).
Le filet de poulet est aussi riche en cholestérol (85,9 mg/100 g de filet de poulet sans peau) (1), indispensable à la fabrication des membranes cellulaires, des hormones et de la vitamine D. Toutefois, la quantité de lipides varie selon les tissus. Les blancs de poulet sont plus maigres que les muscles rouges de la cuisse (2,8 %) (2) ou les ailes avec la peau (17 g/100 g).

24,9 kg
de poulet ont été consommés par personne en France, en 2024.
(SOURCE : ANVOL, INTERPROFESSION VOLAILLE DE CHAIR)

… source de nutriments…

Le blanc de poulet apporte 30 g/100 g de protéines, constituées de l'ensemble des acides

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

SOUTHERN FRIED CHICKEN Poulet mariné (lait ribot, ail, paprika) enrobé d'une panure de farine de blé. Cette version se décline aussi avec des corn flakes (Cornflake fried chicken).

ACRYLAMIDE Substance formée naturellement dans certains aliments riches en amidon (pommes de terre, céréales, etc.) lors de leur cuisson à haute température (au-delà de 120 °C). Elle résulte d'une réaction chimique, dite de Maillard. Elle est classée comme probablement cancérogène pour l'humain par le Circ.

ACROLÉINE Composé volatil produit par la décomposition des graisses et responsable de l'odeur âcre et irritante qui se dégage lorsque l'huile brûle. Elle peut être à l'origine d'une irritation des voies respiratoires et de la muqueuse oculaire.

aminés essentiels, nécessaires à la croissance et à la réparation des tissus, mais aussi à la formation d'enzymes et d'hormones indispensables à l'organisme. Ces protéines favorisent aussi la sensation de satiété et aident à développer la masse musculaire, ce qui peut être bénéfique dans le cadre d'une perte de poids. Le filet de poulet (sans peau) affiche aussi de bonnes quantités de potassium (440 mg/100 g), de phosphore (270 mg/100 g) et de magnésium (37 mg/100 g), et fournit des vitamines du groupe B comme la vitamine B3 (11,8 mg/100 g), indispensable au métabolisme énergétique.

… mais pas meilleure que la viande rouge

La volaille est souvent présentée comme plus saine que la viande rouge. Or, de récents travaux sèment le doute. Selon des observations menées auprès de 4900 adultes (3), ceux qui consomment plus de 300 g par semaine de volaille (poulet, dinde…) auraient un risque de mortalité supérieur de 27 % par rapport à ceux qui en mangent moins de 100 g. Un risque majoré de développer un cancer digestif a aussi été observé, sans qu'un lien de causalité soit établi à ce jour. Pour expliquer ce phénomène, les chercheurs avancent l'hypothèse du mode de cuisson à haute température (friture, rôtissage), ou encore certains facteurs liés aux conditions d'élevage ou de transformation des volailles. Il est donc important de continuer à varier les sources de protéines et à privilégier les cuissons douces (vapeur, étouffée, etc.).

La friture est néfaste pour le cœur

La consommation de poulet frit (tenders, pilons de poulet) au moins une fois par semaine augmenterait de 13 % le risque de décès toutes causes confondues, et de 12 % le risque de mortalité par cause cardiaque, selon des travaux menés auprès de 107 000 femmes américaines pendant 20 ans (4). De plus, la consommation de poulet frit est souvent associée à celle de pommes de terre frites dont la cuisson forme de l'**acrylamide**, une substance qui augmenterait jusqu'à 67 % le risque de maladie cardiaque. Selon les auteurs, l'acrylamide favoriserait l'accumulation de graisses dans les tissus, augmentant ainsi le risque de développer des troubles cardiaques (5).

Vérifier l'huile de cuisson

La cuisson du poulet frit peut se faire en deux temps, à 160-170 °C puis à 180-190 °C. Il faut donc choisir une huile qui reste stable à ces hautes températures. Par exemple, les huiles raffinées d'arachide, de tournesol et de coco, dont le point de fumée se situe autour de 230 °C, ou celle de pépins de raisin (216 °C). Au-delà, l'huile se dégrade et forme des composés potentiellement néfastes pour la santé (hydrocarbures aromatiques polycycliques dits HAP, **acroléine**…). Après des chauffes répétées dans une friteuse classique à 190 °C, certaines huiles, comme celle de tournesol, produisent rapidement de grandes quantités d'aldéhydes, des composés considérés comme génotoxiques et cytotoxiques. Les auteurs conseillent donc de jeter le bain de friture après chaque utilisation (6). ■ **Sylvie Boistard**

ALEXANDRA MURCIER Diététicienne-nutritionniste à Paris (75)

Pas plus de deux fois par mois

« La friture multiplie par deux à trois l'apport calorique du produit de départ, d'autant plus s'il s'agit de produits industriels type nuggets ou tenders, déjà panés. L'usage d'une friteuse à air chaud (« air fryer ») peut être une alternative, car l'ajout de matières grasses est très faible. Il y a donc moins d'oxydation lipidique, pro-inflammatoire. Mais attention aux sauces utilisées en restauration, souvent trop grasses et sucrées. À la maison, on préférera une sauce au yaourt ou au fromage blanc, avec des herbes fraîches. Le poulet frit est un plat plaisir, mais se limiter à deux fois par mois, c'est un bon compromis. »

(1) Table nutritionnelle Ciqual, Anses.

(2) Matières grasses alimentaires et composition lipidique des volailles, Michel Lessire, Inra Productions animales, 2001.

(3) Does Poultry Consumption Increase the Risk of Mortality for Gastrointestinal Cancers? A Preliminary Competing Risk Analysis, Bonfiglio C. et al. *Nutrients*, 2025.

(4) Association of fried food consumption with all cause, cardiovascular, and cancer mortality: prospective cohort study, Sun Y. et al, *BMJ*, 2019.

(5) Acrylamide exposure and cardiovascular risk: a systematic review, Mérida D. M. et al, *Nutrients*, 2024.

(6) Aldehydes contained in edible oils of a very different nature after prolonged heating at frying temperature: presence of toxic oxygenated α,β unsaturated aldehydes, Guillén M. D. et al, *Food Chemistry,* 2012.

Ce manuscrit du XIe siècle, provenant de la bibliothèque de Schaffhausen (Suisse), est installé sous une caméra multispectrale par les chercheurs à l'abbaye d'Einsiedeln. Il comporte un texte caché qui remonterait au VIIIe siècle.

Palimpsestes

Les révélations des parchemins médiévaux

Les moines bénédictins d'une abbaye suisse ont autorisé des chercheurs français à étudier et photographier leurs plus précieux parchemins du Moyen Âge, dans l'espoir d'y découvrir des textes cachés d'auteurs antiques. « Sciences et Avenir » a pu les suivre dans cette traque pour laquelle ils s'appuient sur une nouvelle caméra multispectrale, capable de faire ressortir certains détails invisibles à l'œil nu.

Texte et photos : Marika Julien

Dans les longs couloirs de l'abbaye baroque d'Einsiedeln, en Suisse alémanique, l'ambiance est propice au recueillement. Ici vivent, prient et travaillent une cinquantaine de moines bénédictins. Certains viennent discuter avec les visiteurs et les fidèles, car le monastère, qui abrite une célèbre Vierge noire, est un important lieu de pèlerinage en Suisse. Seule une aile de cet immense bâtiment, celle du Gymnasium, se remplit à heures fixes des discussions des adolescents qui suivent leur scolarité dans cet édifice fondé en 934. Au-dessus des salles de classe se trouve une grande bibliothèque, où le bleu vif des étagères contraste avec le rose pâle des décors en stuc. Sur deux niveaux sont alignés des ouvrages en cuir, quelque 1280 manuscrits. Mais les plus précieux ne sont pas directement accessibles, ils sont conservés dans une autre pièce par le père bibliothécaire. En cette fraîche matinée de printemps, il les sort de leurs coffres pour les apporter à des chercheurs du centre Léon-Robin, une unité de recherche sur la pensée antique de Sorbonne Université et du CNRS. Les moines bénédictins ont autorisé cette équipe, dirigée par Victor Gysembergh, à séjourner une semaine à l'abbaye pour étudier et photographier leurs plus précieux parchemins dans l'espoir d'y découvrir des textes cachés.

Avec sa petite lampe à ultraviolets, le philologue Nicola Zito, chercheur au CNRS, scrute une à une les pages d'un manuscrit du XIe siècle. Malgré son âge, le texte est encore bien lisible : il s'agit d'homélies médiévales. Les parchemins, même millénaires, sont robustes et l'encre noire reste visible, ▸

même si elle a perdu de son intensité. Mais ce n'est pas ce texte religieux qui intéresse le chercheur. Il repère les pages « palimpsestes », c'est-à-dire celles qui ont été réutilisées et sur lesquelles apparaissaient autrefois d'autres écritures. Des écrits particulièrement anciens qui seraient antérieurs à l'an mil.

Identifier les traces de grattage sur les parchemins

Ce texte dit « inférieur » a été effacé par des moines copistes au Moyen Âge pour recycler le parchemin. *« Ici, le texte a été très bien gratté,* décrit Nicola Zito, *mais on voit encore des traces. Si on regarde avec la lampe UV, ça fait un peu ressortir l'encre. »* Sur d'autres feuillets, il identifie les traces de grattage : le parchemin semble plus clair et sa texture est différente. *« C'est vraiment un défi pour l'équipe de prises de vues, car si l'écriture a laissé des traces, c'est l'imagerie multispectrale qui va peut-être nous permettre de la lire. »* Les chercheurs peuvent, en effet, compter sur une nouvelle caméra multispectrale, dont il existe moins de dix exemplaires dans le monde *(lire encadré ci-dessous).*

Si Victor Gysembergh et son équipe ont choisi de se rendre à Einsiedeln, c'est que l'abbaye conserve plusieurs manuscrits remarquables. Parmi eux, des ouvrages du XI^e^ siècle et un livre de petit format très peu étudié, avec des textes copiés au VIII^e^ ou au IX^e^ siècle, dans lequel de nombreuses pages semblent avoir été effacées et réutilisées. Deux autres manuscrits anciens ont aussi été apportés de la bibliothèque municipale de Schaffhausen, à une centaine de kilomètres d'Einsiedeln. *« L'espoir,* reconnaît Nicola Zito, *c'est qu'on arrive à lire quelque chose dans ces palimpsestes et que l'on redécouvre un texte inconnu. »* Depuis l'Antiquité, des milliers d'œuvres ont été oubliées, perdues ou effacées. *« On pense souvent aux incendies ou aux pillages,* souligne Victor Gysembergh. *Les grandes catastrophes ont certainement joué un rôle, mais les changements de système d'écriture ont entraîné des pertes de textes encore plus importantes. »* Au IX^e^ siècle, par exemple, sous l'impulsion des réformes de Charlemagne, on passe progressivement, partout en Europe, à la minuscule caroline, une police créée pour uniformiser l'écriture et faciliter la lecture. Ce qui n'est pas recopié va donc dépérir, car on ne sait plus le lire après quelques siècles. Avant l'invention de l'imprimerie, au milieu du XV^e^ siècle, *« la perte d'un texte est la norme, pas l'exception »*, note le chercheur.

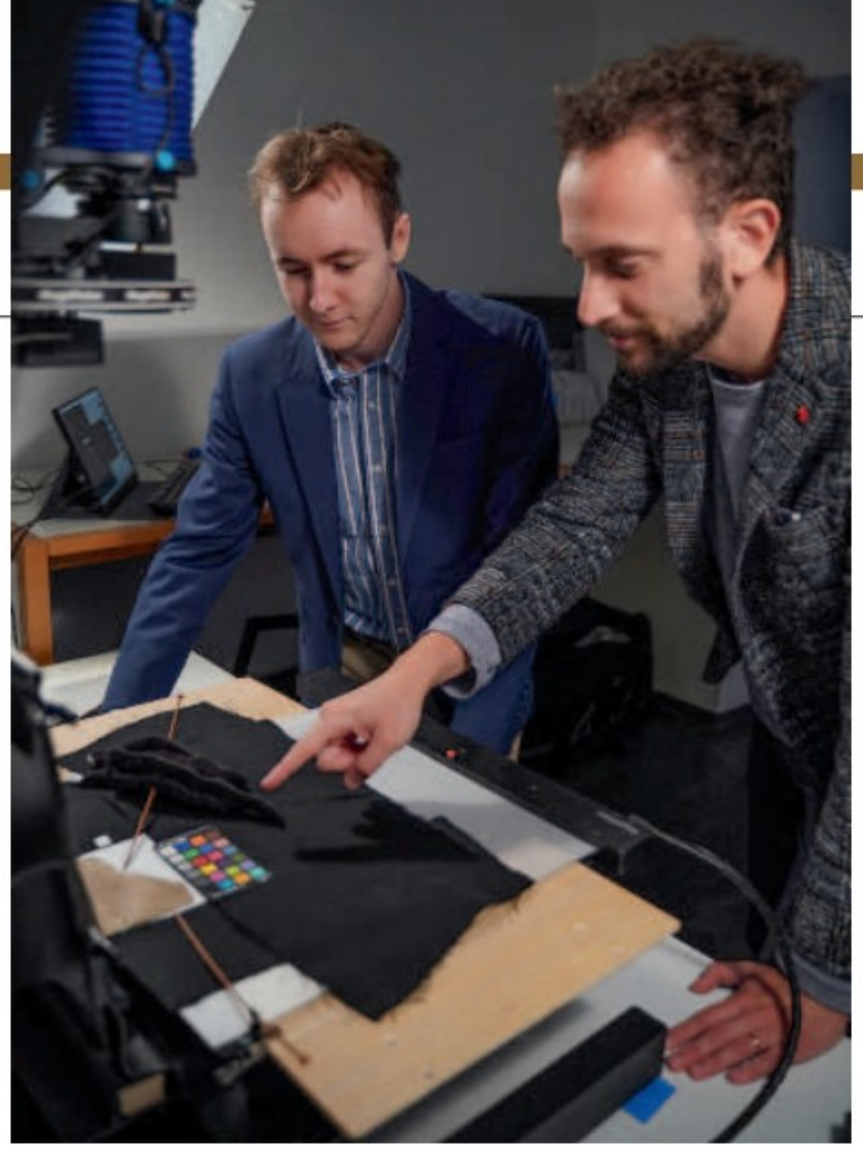
L'effacement d'un document, un choix économique et culturel

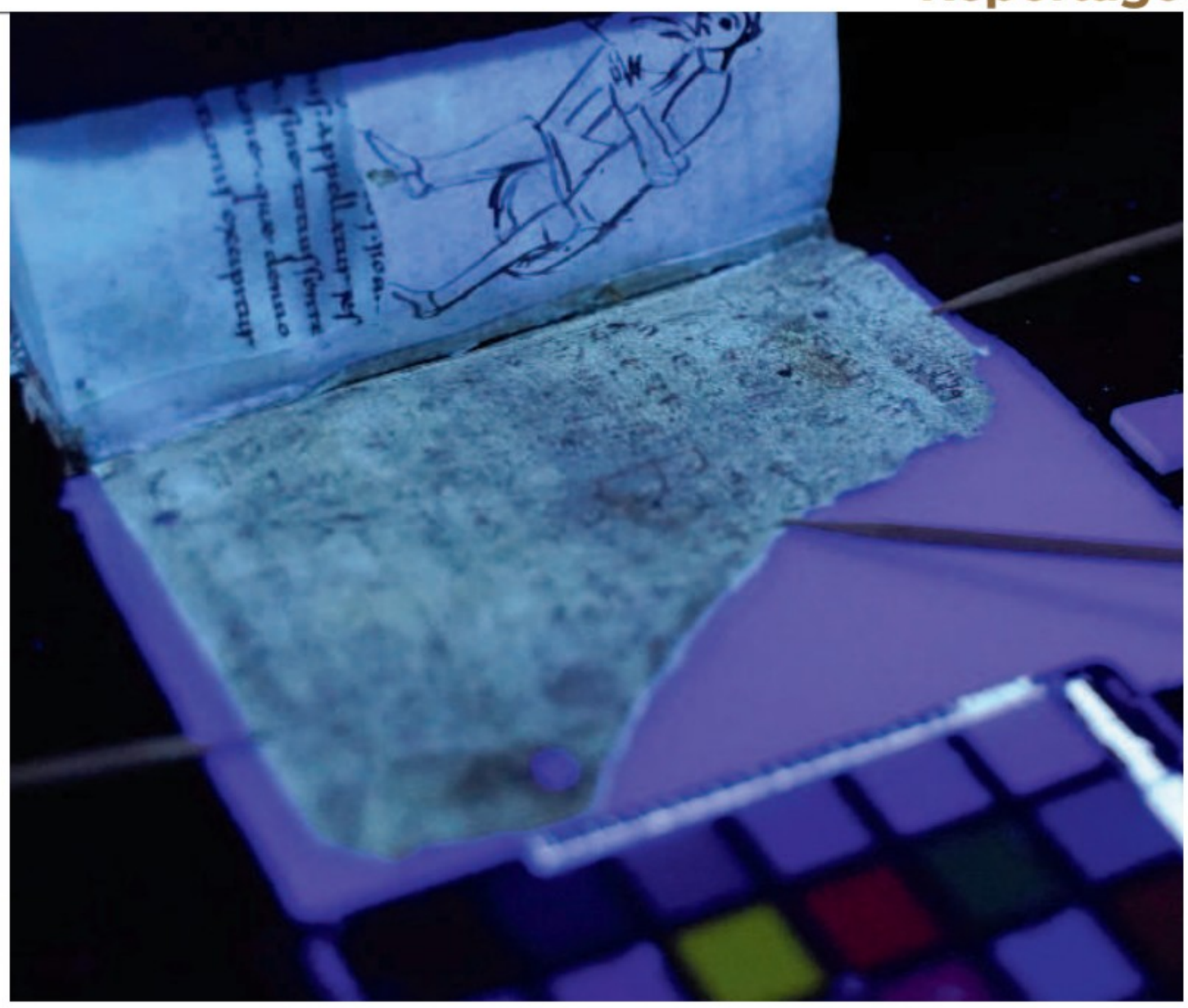
Dans l'Antiquité, qu'ils soient scientifiques, philosophiques ou littéraires, les textes étaient fréquemment copiés sur un rouleau de papyrus ou dans des livres en parchemin. Selon le philologue et historien Emanuel Zingg, ingénieur de recherche CNRS au centre Léon-Robin, les choses changent aux VI^e^, VII^e^ et VIII^e^ siècles, après la chute de l'Empire romain d'Occident. *« À cette époque, le canon des textes antiques se réduit,* explique-t-il. *On se consacre surtout à la copie des textes religieux et on s'intéresse moins aux textes profanes. Il s'agit aussi d'une période politiquement instable. Les gens pensaient avant tout à survivre. Ils n'avaient plus forcément les ressources*

IMAGERIE

Les prouesses d'une caméra multispectrale

Le Centre Léon-Robin vient de s'équiper d'une nouvelle caméra multispectrale, qui capture des images dans de nombreuses longueurs d'onde. *« Les humains voient dans le spectre du visible, quelque part entre le bleu et le rouge, mais les capteurs numériques peuvent capturer bien plus d'informations, de l'ultraviolet à l'infrarouge »,* pointe Damianos Kasotakis, directeur de l'image de l'organisation scientifique internationale Early Manuscript Electronic Library. Chaque page de manuscrit est photographiée 42 fois, avec des lumières différentes. Des filtres permettent aussi de faire ressortir des détails. *« Si le manuscrit renvoie une lumière jaune, on va utiliser un filtre rouge pour récupérer des informations spécifiques. »* En recombinant les images sur ordinateur, les chercheurs font ensuite disparaître le texte supérieur tandis que le texte effacé réapparaît…





LOIS, MUSÉE DES BEAUX-ARTS. INV. 73.7.52. PHOTOGRAPHIE IRHT-CNRS

◄ ▲ ►

Le « Codex Climaci Rescriptus » étudié sur écran (à gauche) par les chercheurs ; une page du manuscrit « Einsiedeln 339 » (ci-contre) placée sous la caméra multispectrale (ci-dessus).

pour s'intéresser à d'autres mondes, à d'autres sujets. » Quelques textes continuent quand même d'être préservés et ce sont ces copies, effectuées vers la fin de l'Antiquité, ou durant les premiers siècles du Moyen Âge, qui intéressent l'équipe du centre Léon-Robin.

Plusieurs d'entre eux ne sont encore préservés que sous forme de palimpseste. Car la matière même de ces ouvrages — des peaux animales — est une denrée très onéreuse. Victor Gysembergh aime à rappeler que, pour fabriquer un livre de format moyen, *« une ou deux doubles pages, c'est un animal et donc un livre, c'est tout un troupeau ! »* À cela s'ajoute le travail nécessaire pour transformer le cuir en parchemin. À cause de ce coût, les copistes recyclaient. *« On connaît les recettes de solutions à base de lait dans lesquelles ils trempaient le parchemin,* indique le spécialiste. *Ces mélanges permettaient à l'encre de se détacher du support. Ensuite, on grattait la page avec une pierre ponce ou une lame. »* De cette technique vient le terme « palimpseste », composé du mot grec *psao* (gratter) et *palin* (de nouveau).

Le choix d'effacer un document est complexe et culturel. *« Sur les techniques et les sciences, il semble qu'il leur suffisait d'avoir un seul texte sur un sujet donné. »* Ptolémée devient ainsi l'astronome et astrologue de référence, et autour du IIIe et du IVe siècle de notre ère, on cesse de copier les textes de ses prédécesseurs. *« Pour la littérature, on choisit les auteurs pour des raisons esthétiques ou morales »,* ajoute Victor Gysembergh. Des chefs-d'œuvre disparus sont donc peut-être encore cachés dans les palimpsestes et, pour les redécouvrir, il faut faire apparaître l'écriture cachée. À Einsiedeln, pendant qu'une partie de l'équipe étudie un manuscrit, Owen Milewski, ingénieur d'étude au CNRS, et le consultant Damianos Kasotakis photographient d'autres livres, dans une petite pièce attenante à la bibliothèque. Pour ces prises de vue, toutes les fenêtres sont calfeutrées, et même la diode infrarouge du détecteur de fumée a été recouverte.

L'IA va accélérer le traitement des images

Les ouvrages sont délicatement ouverts et installés face caméra. *« Lors des prises de vue, notre priorité absolue est la sécurité de l'objet »,* assure Owen Milewski. Chaque page est photographiée plusieurs fois, sous de multiples lumières et avec différents temps d'exposition. Commence ensuite un long travail de traitement des images, qui sera accéléré grâce au développement d'outils d'intelligence artificielle.

Les chercheurs obtiennent une image où l'écriture effacée est à nouveau visible. Si le texte est déjà connu, il suffit parfois de déchiffrer une suite de quelques mots et de les saisir dans une base de données pour identifier le document. Mais lorsque l'œuvre est inconnue, ou mal référencée, ce travail peut être beaucoup ▶

STELLA FAVIA

« L'espoir, c'est qu'on arrive à lire quelque chose dans ces palimpsestes et que l'on redécouvre un texte inconnu »

Nicola Zito, philologue, chercheur CNRS au centre Léon-Robin

ARCHÉOLOGIE

Une page inédite du palimpseste d'Archimède

Le recto du feuillet n°123, retrouvé dans les collections du musée des Beaux-Arts de Blois.

Pour trouver de nouveaux palimpsestes, Victor Gysembergh prospecte régulièrement dans les bases de données des bibliothèques. Il y a quelques mois, au hasard d'une de ces recherches, il retrouve la trace d'une page que l'on croyait disparue du palimpseste d'Archimède, l'un des manuscrits médiévaux les plus célèbres au monde. Ce dernier contient sept traités du savant grec Archimède, dont trois étaient inconnus avant la redécouverte de l'ouvrage au début du XX^e siècle. Conservé plusieurs siècles dans un monastère près de Bethléem, puis à Constantinople, il est identifié en 1906 par un professeur de grec, spécialiste d'Archimède, qui étudie le manuscrit, prend des photos et déchiffre les théorèmes. Au cours du XX^e siècle, l'ouvrage arrive dans une collection privée en France, puis est vendu aux enchères en 1998 à un collectionneur. Entre les photos de 1906 et la vente, 90 ans plus tard, trois feuillets ont disparu et, sur quelques pages, des enluminures faussement médiévales ont été ajoutées. Ces modifications auraient été effectuées, vers 1942, par son propriétaire, Salomon Guerson. Probablement dans le but d'accroître sa valeur marchande et d'échapper aux persécutions visant les juifs pendant la Seconde Guerre mondiale. Dans les prochains mois, Victor Gysembergh espère passer la page retrouvée à l'imagerie multispectrale et, peut-être, lui faire livrer de nouvelles informations sur le travail d'Archimède.

plus long et prendre des mois. Quelques semaines après la campagne de prises de vues d'Einsiedeln, Victor Gysembergh et son équipe commencent à identifier les textes cachés dans les palimpsestes qu'ils ont photographiés : des lettres apocryphes de papes, un commentaire à l'Évangile selon Luc, un exemplaire du Nouveau Testament et un commentaire de *L'Andrienne,* une pièce de l'auteur comique latin Térence.

Pour certains palimpsestes trop abîmés ou trop bien grattés, l'imagerie multispectrale ne permet pas de déchiffrer complètement le texte inférieur. Une autre méthode est alors envisageable : étudier l'objet dans un accélérateur de particules. Début 2026, Victor Gysembergh a apporté, au synchrotron de Stanford en Californie, le *Codex Climaci Rescriptus,* un manuscrit exceptionnel où le chercheur a déjà identifié, il y a quelques années, le premier catalogue d'étoiles de l'histoire de l'humanité, un texte de l'astronome grec Hipparque. *« Les expériences en synchrotron, avec la fluorescence de rayons X, sont très puissantes et souvent on obtient des résultats, même sur des pages où on ne voit rien avec l'imagerie multispectrale. »*

Des traces de calcium incrustées dans le parchemin

Avec le chercheur Nicola Zito, ils profitent d'un moment de temps libre pour continuer le déchiffrement des images obtenues. Elles ne représentent pas directement l'encre, mais des traces de calcium incrustées dans le parchemin : *« On sait qu'ils trempaient les parchemins dans des solutions avec du lait pour fabriquer les palimpsestes. Il est probable que le calcium se soit déposé à ce moment-là, aux endroits où l'encre avait commencé à ronger le parchemin »,* analyse Victor Gysembergh.

Sur ces pages, les chercheurs ont identifié un résumé des *Catastérismes* du savant Ératosthène, des mythes qui racontent comment un personnage, un animal ou un objet représenté dans une constellation a été fixé dans le ciel. Le texte est déjà connu, mais cette version semble être plus ancienne, et donc plus proche de l'originale. Pour la déchiffrer, encore faut-il distinguer les lettres… Nicola Zito, concentré, frise sa moustache tandis que Victor Gysembergh se tient la tête entre les mains. *« On a parfois des traces vraiment fantomatiques,* décrit-il. *On peut passer des heures à se demander si c'est de l'encre ou si on est en train d'halluciner. »* Grâce à l'accélérateur de particules, les chercheurs ont aussi trouvé dans le *Codex Climaci Rescriptus* de nouvelles coordonnées d'étoiles du catalogue d'Hipparque, et des dessins de constellations. De quoi les occuper à un long et patient travail de déchiffrement pour les mois, voire les années à venir. ■

« Avec le synchrotron, on obtient souvent des résultats, même sur des pages où on ne voit rien avec l'imagerie multispectrale »

Victor Gysembergh, directeur de recherche CNRS au centre Léon-Robin

Sur la piste des premiers Américains

Chasse au mammouth, pêche au saumon, domestication des chiens… L'archéozoologie fournit de nombreux indices pour éclairer les relations avec les animaux des premiers habitants de l'Arctique américain, il y a environ 15 000 ans.

GREG HARLIN/WOODRONSAVILLE HARLIN/BRIDGEMAN IMAGES

Les habitants originels du continent armaient leurs sagaies de pointes pour chasser les mammouths, hauts de trois mètres environ (vue d'artiste).

Le film *L'Âge de glace* a figé, dans l'esprit des spectateurs, un certain cliché sur les premiers humains : des chasseurs vêtus de peaux, lance brandie vers un mammouth laineux. Or, d'autres animaux sont également mis à l'honneur par des études récentes. De nouvelles découvertes révèlent ainsi qu'il est très probable que les chiens aient accompagné les humains lors de leur traversée de la Béringie, un vaste couloir de glace qui reliait alors l'Alaska (États-Unis) et la Sibérie (Russie).

Des deux côtés du Grand Nord, archéologues et ethnologues constatent des pratiques communes sur la façon d'interagir avec les canidés. Les travaux génomiques de ces dernières années ont trouvé une continuité entre les chiens américains et les plus anciens descendants de populations domestiquées en Eurasie, bien avant l'installation en Amérique. Dans une étude publiée par *Science Advances,* en décembre 2024, une équipe de chercheurs souligne qu'à l'intérieur de l'Alaska, *« le tardiglaciaire (vers 19 000-11 700 ans) a probablement été une période d'expérimentation concernant les relations humain-canidés »*. Ces derniers ont même pu jouer un rôle dans l'extinction anthropique de la mégafaune.

« Nos données provenant du site de Swan Point suggèrent qu'un large éventail de

relations entre les humains et les canidés se développaient au cours du processus de peuplement. Les canidés présents sur ces sites anciens pourraient indiquer la présence de chiens domestiques (les deux espèces en tirent profit) ou de commensalisme (l'une des espèces en tire profit tandis que l'autre n'en tire ni profit ni préjudice) », explique Ben Potter, chercheur à l'université de l'Alaska à Fairbanks (États-Unis) et spécialiste de l'Arctique. La nature exacte de ces relations est très difficile à documenter pour les périodes les plus anciennes, notamment en raison de la rareté des témoins archéologiques. C'est là que l'ethnologie devient précieuse pour tenter de retracer le passé de cette région. On peut donc les imaginer en compagnons de chasse, assistants de transport et fidèles gardiens.

Les découvertes archéologiques sur le site de Swan Point, dans la région centrale de l'Alaska, révèlent une parenté avec la lignée génétique des loups sibériens. « *Je pense qu'il y a eu plusieurs événements de domestication à travers l'Asie du Nord et la Béringie, et que les premiers Américains avaient des chiens* », poursuit Ben Potter. Les études génétiques suggèrent que cela a eu lieu après le dernier maximum glaciaire, il y a quelque 15 000 ans. « *Cela correspond, à peu près, à la période de peuplement des Amériques* », conclut-il.

Les chiens s'inscrivent ainsi dans un système économique et social façonné par la mobilité, l'exploitation saisonnière du gibier et celle de l'environnement. Chasseurs chevronnés, ces premiers groupes étaient vraisemblablement « *liés aux sociétés paléolithiques sibériennes* », précise Yan Axel Gómez Coutouly, chargé de recherche au CNRS et spécialiste de la question du peuplement. « *D'un point de vue génétique, les premiers Américains sont apparus en tant que population unique il y a environ 25 000 ans, se différenciant des autres populations anciennes d'Asie de l'Est* », détaille Ben Potter.

UNIVERSITY OF ALASKA FAIRBANKS

« Un large éventail de relations entre les humains et les canidés se sont développées au cours du processus de peuplement »

Ben Potter, chercheur spécialiste de l'Arctique à l'université de l'Alaska à Fairbanks (États-Unis)

L'analyse isotopique des restes d'un jeune enfant

On est donc loin d'une migration héroïque à la conquête d'un « Nouveau Monde ». Les acteurs n'avaient sans doute pas conscience de changer de continent. Pour les populations de l'époque, la Béringie ne formait qu'un seul et même écosystème. « *La progression s'est faite de manière graduelle, presque imperceptible : un groupe s'installait à quelques dizaines de kilomètres, puis la génération d'après s'avançait un peu plus loin, suivant simplement les troupeaux de rennes, de*

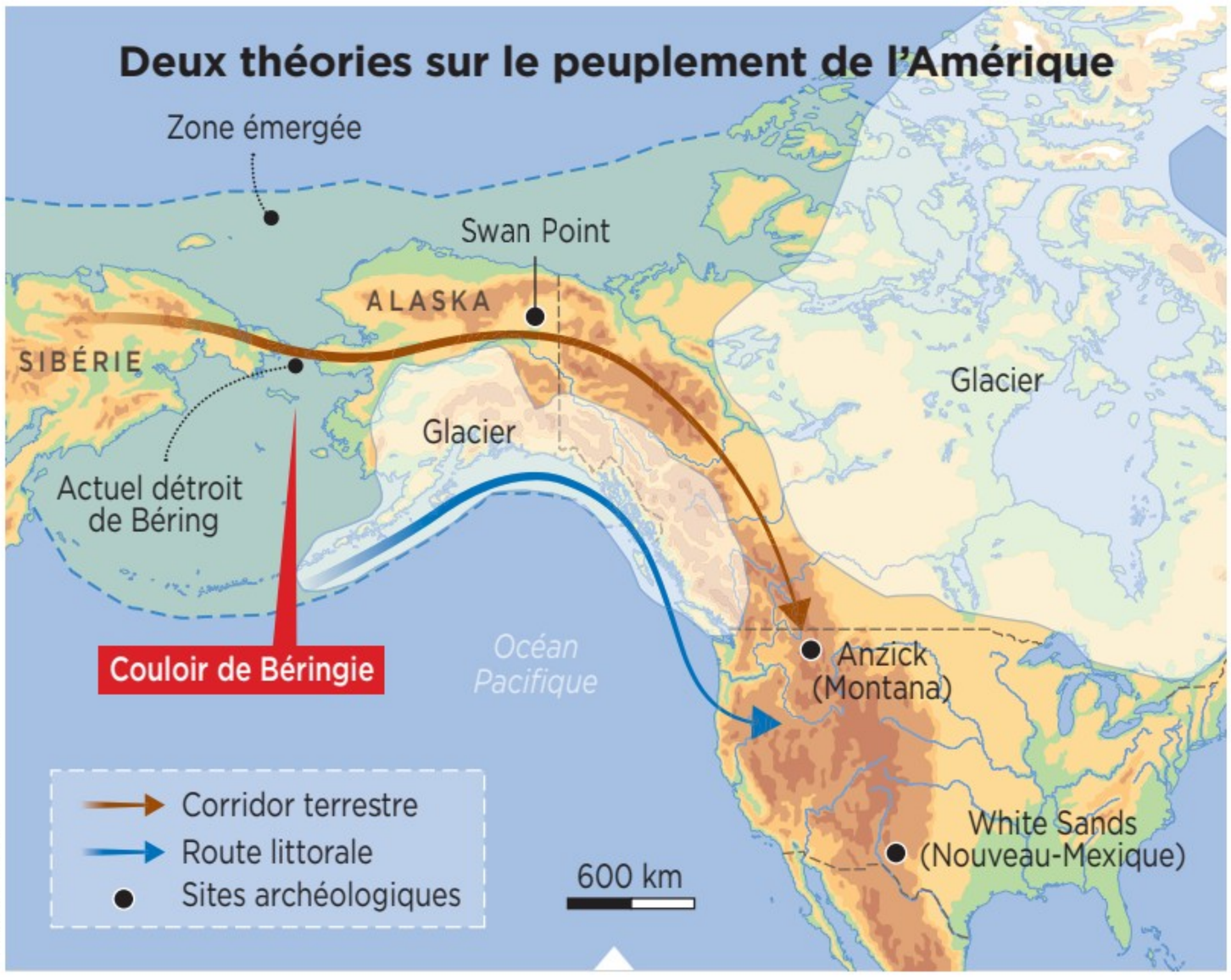
DÉBAT

Un bout d'histoire englouti

Pendant des décennies, le scénario était gravé dans le marbre : le peuple Clovis serait arrivé par un corridor terrestre entre deux calottes glaciaires, il y a 13 500 ans. Mais depuis quelques années, cette théorie prend l'eau. La découverte de traces de vie humaine sur le continent, comme les empreintes de White Sands, vieilles de 23 000 ans, ont remis en question toute la chronologie établie. Le débat se déplace désormais sur les côtes maritimes. Pour certains chercheurs, comme Jon Erlandson de l'université d'Oregon (États-Unis), les premiers Américains auraient longé le littoral Pacifique en suivant une route appelée « Kelp Highway » (« la route des algues »). Si ce sujet fascine autant qu'il interroge les spécialistes des glaces, c'est parce que les preuves archéologiques ne sont pas nombreuses et, de plus, elles sont éparses. Les sites qui permettraient de trancher le débat gisent sous le détroit de Béring. Le niveau des océans a grimpé de plus de 100 m et a noyé les paysages littoraux où les preuves de ces premières migrations pourraient se trouver. À défaut de pouvoir fouiller l'océan Arctique, la quête du continent perdu continue…

NPS PHOTO/AP/SIPA

Empreintes humaines fossilisées vieilles de 23 000 ans, découvertes à White Sands (Nouveau-Mexique).



Des groupes humains venant de Sibérie auraient emprunté un corridor terrestre entre deux calottes glaciaires. Pour d'autres chercheurs, ils auraient longé le littoral Pacifique.

mammouths et d'autres gibiers », abonde Yan Axel Gómez Coutouly.

Cette logique de continuité se retrouve également dans l'hypothèse de la route côtière. En longeant le littoral, les populations pouvaient parcourir de longues distances tout en restant dans un environnement familier. Tant que les techniques de pêche et de collecte de coquillages restaient efficaces, ces groupes seraient descendus vers le sud sans quitter leur zone de confort écologique. Grâce à leur savoir-faire en débitage de lamelles par pression, ils fabriquaient des pointes redoutables afin d'armer leurs sagaies. Une tradition qui *« a perduré pendant des millénaires en Alaska, dans le Yukon canadien et le long de la côte nord-ouest, mais ne se diffuse pas au-delà »*. Hauts d'environ trois mètres et lourds de plusieurs tonnes, les mammouths laineux succombaient à ces pointes de projectile.

1980

Création de la réserve nationale du pont terrestre de Béring, située dans le détroit de Béring actuel, entre l'Amérique du Nord et l'Asie.

Et sans aucun doute, un pachyderme était le plus grand butin auquel ces chasseurs pouvaient aspirer. L'ivoire de leurs défenses servait à tailler des outils sophistiqués. Leur chair, à remplir les assiettes.

Une équipe scientifique a mené une analyse isotopique des restes d'un jeune enfant, découvert en 2013 sur le site d'Anzick, dans le Montana (États-Unis), seul représentant connu de la culture Clovis, une culture archéologique nord-américaine caractérisée par ses pointes de projectile et longtemps considérée comme la première présence humaine sur le continent — 11 500 ans avant notre ère. Les chercheurs ont reconstitué la diète de la mère du bébé, résultat : le mammouth constituait sa principale source de protéines. L'étude isotopique permet de reconstituer de manière plus directe les régimes alimentaires du passé. Elle consiste à examiner les restes humains pour déterminer les ratios stables de carbone et d'azote. Chaque aliment que nous consommons comporte une signature spécifique, variable en fonction de sa provenance. *« L'analyse des valeurs enregistrées permet d'évaluer les proportions relatives des proies dans l'alimentation. De cette manière, nous avons déduit que sa mère avait un régime alimentaire composé à 90 % de mégafaune, dont environ 40 % de mammouths »*, explique Ben Potter, coauteur de l'étude de *Science Advances*.

Une ressource saisonnière, abondante et prévisible

De plus, les mammouths sont largement représentés dans le Grand Nord à cette période. *« Les proboscidiens (mammifères à trompe) représentent parfois jusqu'à 90 % des assemblages fauniques retrouvés sur les sites Clovis »*, précise Ben Potter. Marjolein Admiraal, archéologue spécialiste de l'étude des isotopes à l'université de Fairbanks, note cependant *« qu'en fouillant plus en profondeur, on découvre qu'ils chassaient aussi des animaux beaucoup plus modestes. C'est moins sexy, mais essentiel. »* Au menu : lièvres, lapins et poules des neiges… mais aussi du saumon frais. *« À Upward Sun River, en Alaska, on a la preuve qu'ils pêchaient le saumon il y a 11 500 ans,* poursuit la chercheuse. *Il faudrait être fou pour ne pas pêcher le saumon quand il est là par millions. »* Cette ressource saisonnière, abondante et prévisible, complétait idéalement un régime fondé sur la chasse.

Encore une fois, les scientifiques sont confrontés au manque de preuves et doivent user de patience avant de dévoiler les secrets de cette période de l'histoire. *« Le niveau de la mer ayant augmenté, nous n'avons pas accès à beaucoup de sites anciens dans cette région »*, explique Camille Mayeux, spécialiste de l'habitat des populations littorales du Grand Nord. Mais chaque trace animale qu'on y retrouve est un précieux témoignage. ■ **Yoanna Herrera**

Le culte oublié de Carl von Linné

Le naturaliste suédois, auteur de la première classification scientifique des êtres vivants, a connu une célébrité inégalée dans le monde. Après sa mort en 1778, de nombreuses sociétés savantes sont fondées en son honneur. Leur but : organiser des fêtes champêtres, dites « fêtes linnéennes », dont le rituel est soigneusement codifié.

Par Pascal Duris

En 2014, des chercheurs du laboratoire de physique théorique de l'université de Toulouse font une étonnante mais très sérieuse découverte : à partir de l'étude des sites Wikipédia de 24 pays, ils montrent que la personnalité la plus influente d'Internet est le naturaliste suédois Carl von Linné, devant Jésus, Aristote et Napoléon. Einstein est neuvième. Taylor Swift ne figure pas encore dans le classement…

Figure des sciences naturelles européennes au XVIIIe siècle, né en 1707 et mort en 1778 — la même année que Voltaire et Jean-Jacques Rousseau —, Linné est le fondateur de la première véritable classification scientifique des êtres vivants. Il est aussi l'inventeur de la manière actuelle de les nommer, ce qu'on appelle la nomenclature binominale (le nom du genre suivi de celui de l'espèce) : *Canis familiaris* pour le chien, *Quercus robur* pour le chêne pédonculé, *Salvia officinalis* pour la sauge, *Homo sapiens* pour l'espèce humaine, et des milliers d'autres noms latins d'espèces, c'est lui. Linné ne s'est pas laissé décourager par l'ampleur et la difficulté de la tâche, car il a la conviction d'avoir été choisi par Dieu pour mener à bien son entreprise.

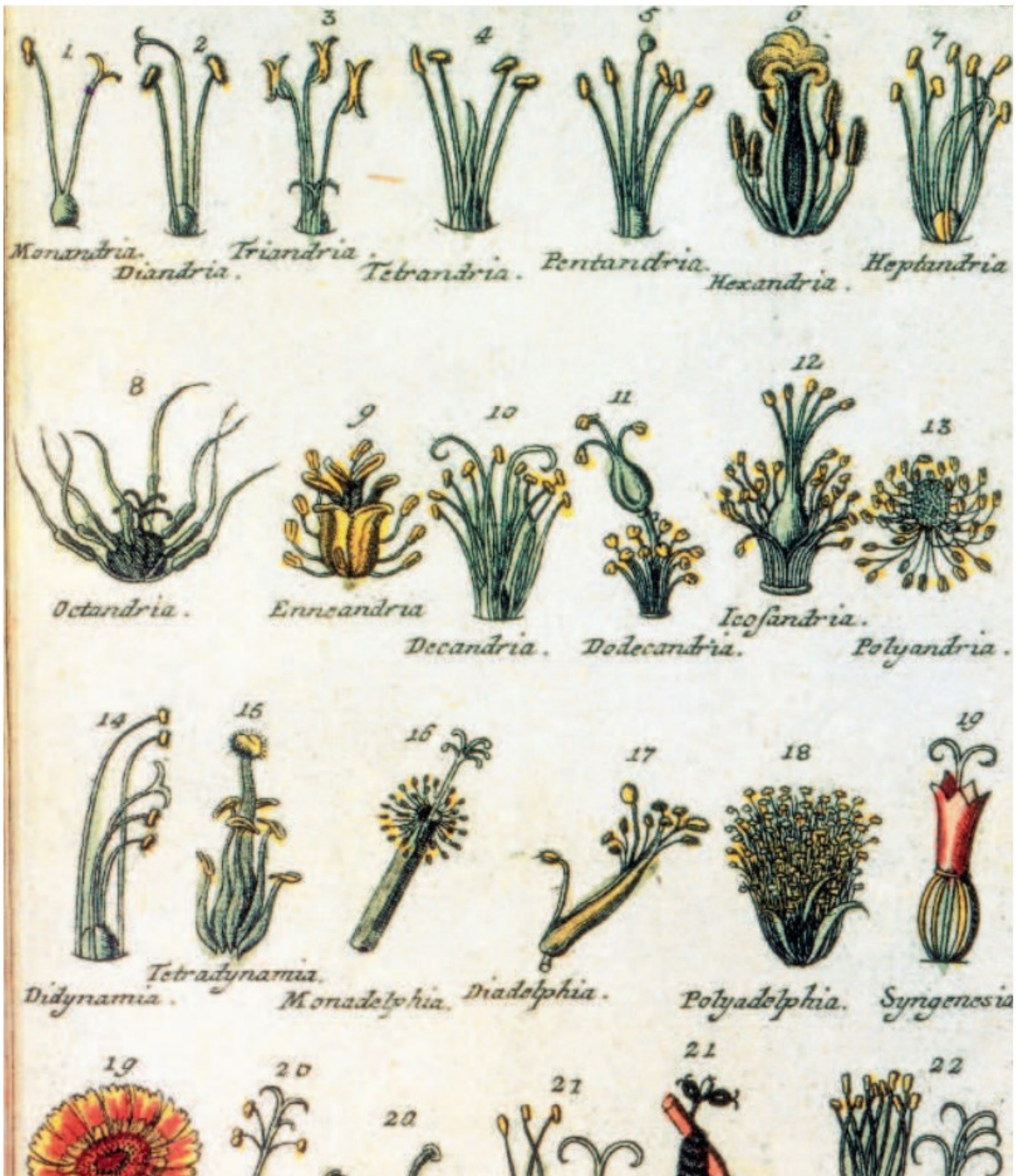
Ses idées ne disparaissent pas avec lui. Une première société savante fondée en son honneur, la bien nommée « Société linnéenne », voit le jour à Paris en décembre 1787, deux mois avant celle de Londres, toujours en activité aujourd'hui. En août 1790, un buste du naturaliste est inauguré en grande pompe au Jardin du roi (l'actuel Jardin des plantes à Paris). Émerge ainsi, peu à peu, un véritable culte qui, sous la Restauration, se manifeste par la multiplication des sociétés linnéennes : à Bordeaux en 1818, Paris en 1821, Lyon en 1822, Caen en 1823, etc. Il en va de même ailleurs dans le monde : Société linnéenne de Philadelphie en 1806, d'Uppsala en 1807, de Boston en 1813… Toutes ces sociétés, ouvertes aux femmes en France, ont en commun de célébrer un culte ostentatoire de Linné, notamment lors de fêtes savantes champêtres, dites « fêtes linnéennes », dont le rituel est soigneusement codifié.

R. ESCHER/DIVERGENCE

Professeur d'épistémologie à l'université de Bordeaux, Pascal Duris est spécialiste de l'histoire des sciences naturelles et biologiques.

À Paris, Lyon et Caen comme à Londres, une fête célébrée le 24 mai

À Bordeaux, au XIXe siècle, la fête linnéenne a lieu le premier jeudi après la Saint-Jean (24 juin). Elle est donc mobile, mais ne peut tomber que du 25 juin au 1er juillet inclus. À Paris, Lyon et Caen, comme à Londres, elle est célébrée le 24 mai, considéré comme le jour anniversaire de la naissance de Linné. Cette fête est réservée aux membres et à leurs proches. À Paris, ils portent un brin de linnée boréale en signe de reconnais-



IBERFOTO / BRIDGEMAN IMAGES

Dans le système de Linné, les plantes sont réparties en 24 classes, divisées en ordres, genres et espèces, selon la constitution de la fleur, le nombre d'étamines et le nombre de pistils.

Les Linnéens gagnent le lieu de la fête par petits groupes, à pied, à cheval, plus tard en train, et mettent à profit le trajet pour herboriser

sance. Leur nombre est très variable. Près d'une centaine dans la capitale, un peu moins sans doute à Bordeaux. Il peut même arriver qu'une ou deux personnes seulement rendent hommage à Linné. La fête commence souvent très tôt. Dès 3 ou 4 heures du matin à Libourne, Narbonne ou Montpellier, afin d'éviter les grosses chaleurs de la journée, vers 5 ou 6 heures à Bordeaux, entre 7 et 9 heures à Paris. Les Linnéens gagnent le lieu de la fête par petits groupes, à pied, à cheval, plus tard en train, et mettent à profit le trajet pour herboriser. Si l'excursion a commencé tôt, un déjeuner frugal est servi vers 10 heures. C'est l'occasion de porter une première fois des toasts à la mémoire de l'*« immortel Linné »*. Puis l'herborisation se poursuit jusqu'à midi.

Des relevés météorologiques scrupuleusement consignés

À midi exactement, heure à laquelle on pensait que Linné était né — selon Linné lui-même, ce serait plutôt 1 heure du matin… —, tous se réunissent pour effectuer des relevés météorologiques : l'aspect du ciel, la force et la direction du vent, la température, l'hygrométrie et la pression barométrique sont scrupuleusement consignés dans le procès-verbal de la journée. La simultanéité de ces mesures partout en France et dans le monde est une obsession. La section des Indes de la Société linnéenne de Bordeaux décide ainsi, en 1823, que la fête *« commencera à quatre heures de l'après-dînée, afin de mettre le plus d'unité possible avec les sociétés qui doivent la célébrer en Europe »*. Vers 12h30, le président ouvre la séance, qui se tient parfois dans des lieux insolites. Le voyageur et naturaliste René-Primevère Lesson profite par exemple, en 1822, d'une escale aux îles Malouines pour fêter Linné en compagnie de Dumont d'Urville : *« Nous serons sans contredit,* écrit-il, *les premiers européens qui l'auront porté par 52° de lat. S. et qui auront élevé un concert de louanges aux mânes du grand Linné, sur ces*

îles désertes, habitations des phoques et des pingouins. » En 1823, deux correspondants de la Société linnéenne de Bordeaux célèbrent la fête linnéenne dans une maison de campagne du roi Radama Ier, à Madagascar. La fête de la section des Indes se tient en 1825 dans le tronc creux d'un baobab. Mais, le plus souvent, la séance a lieu dans le parc d'un château, à l'ombre d'arbres séculaires ou dans une clairière. Les bois de Meudon, de Vincennes, de Romainville, de Saint-Cloud, de Ville-d'Avray offrent, avec la forêt de Saint-Germain, le village de Fontenay-aux-Roses, les îles de la Marne et le parc de Sceaux, des sites très prisés des Linnéens parisiens.

Le lieu de la fête est décoré avec soin. Le portrait de Linné, ceint d'une couronne emblématique de 24 fleurs illustrant chacune des classes de sa nomenclature botanique, surplombe le fauteuil du président. Quelques vers, puisés chez le poète Castel, figurent parfois sous le tableau : « *Tu vins, l'ordre parut* », ou encore « *À Charles Linné. Cherchant la vérité, redoutant l'imposture/Linné de l'Éternel chérissant les décrets/Leva le voile épais qui couvrait la nature/Et nous montra tous ses secrets* ». La Société linnéenne de Paris préfère le buste du grand homme, que les dames décorent de guirlandes de fleurs. Parfois, des panneaux où sont inscrits les noms de botanistes célèbres (les frères Bauhin, Tournefort, les Jussieu, etc.) sont fixés à des arbres, ou des instruments agricoles et des animaux naturalisés sont apportés.

La nomenclature des espèces vivantes est toujours latine et binominale

La séance elle-même se compose d'un certain nombre de lectures qui s'enchaînent, suivant l'ordre d'un programme imprimé à l'avance et distribué aux participants. Les principaux thèmes abordés sont la botanique philosophique — l'étude des plantes et, plus largement, de l'histoire naturelle, a une heureuse influence sur les facultés morales de ceux qui s'y livrent —, la poésie didactique et scientifique, la poésie et l'hagiographie linnéennes, la botanique proprement dite, la physiologie végétale, l'agriculture. Zoologie et géologie sont presque toujours absentes. Après ces lectures, l'herborisation reprend. Parfois aussi, on visite un site intéressant. La Société linnéenne de Bordeaux qui, en 1824, célèbre Linné à La Brède (Gironde), dans le domaine de Montesquieu, visite le château de l'écrivain. Puis, avec la fin de l'après-midi, vient l'heure du banquet champêtre, interrompu par de nouvelles lectures, souvent des poésies dédiées aux dames, ou des chansons au titre évocateur : *Le Couvent linnéen, Le Printemps des Linnéens, Le Linnéen en gaieté, etc.* À Bordeaux, le banquet s'achève par des toasts portés en l'honneur de Linné et on procède à la nomination des nouveaux membres. Puis, avant de se séparer, parfois fort tard dans la soirée, on signe le procès-verbal de la fête. En 1822, les Linnéens parisiens rapportent chez eux le fac-similé d'une lettre de Linné à un botaniste français. Dans quelques semaines, tous recevront la relation imprimée de la journée, avec la gravure du lieu où elle s'est déroulée.

Les fêtes champêtres en l'honneur de Linné organisées par les sociétés linnéennes ont longtemps paru anachroniques. Pourtant, ce culte a permis aux naturalistes de la seconde moitié du XIXe siècle de prendre conscience de la nécessité de stabiliser et d'harmoniser la nomenclature scientifique. Ce sera l'œuvre, au terme de plusieurs grands congrès à partir des années 1840, des Codes internationaux de nomenclature. Ceux-ci donnent aux écrits de Linné, notamment à son *Systema naturae* et à son *Species plantarum,* une priorité absolue, jusqu'à aujourd'hui : la nomenclature scientifique des espèces vivantes est toujours latine et binominale. Et ce mois de juin, la Société linnéenne de Bordeaux fêtera sa 207e fête linnéenne. ■

PORTRAIT

Un savant couronné par son siècle

Linné est l'auteur de plusieurs ouvrages fondamentaux dont *Systema naturae* (1735), *« chef-d'œuvre que l'on ne relira jamais assez souvent et que l'on n'admirera jamais trop »,* selon Linné lui-même, *Genera plantarum* (1737), *Philosophia botanica* (1751) ou encore *Species plantarum* (1753), *« la plus grande œuvre accomplie dans le royaume de la science »,* toujours selon l'auteur. Anobli en 1761 par le roi Adolphe-Frédéric de Suède, Carl von Linné connaît de son vivant tous les honneurs. Des médailles sont frappées à son effigie et d'innombrables tableaux, gravures, bustes, statues le représentent partout dans le monde, avec ses attributs que sont la *Linnaea borealis* — la seule espèce (de plante en l'occurrence) qu'il permettra qu'on nomme en son honneur —, et le *Systema naturae.* À sa mort, la Suède lui fait des funérailles nationales.

NPL/ OPALE.PHOTO

PROFITEZ D'UNE REMISE DE 20% SUR L'ACHAT DE VOTRE TICKET AVEC LE CODE **SAVT26**

VIVATECH

17-20.JUIN.2026

PORTE DE VERSAILLES

LA TECH NE S'ARRÊTE JAMAIS. SAUF ICI, UNE FOIS PAR AN_

L'évènement start-up et tech n°1 en Europe.
180 000 participants, 160 000 connexions.
Ne manquez pas la 10e édition de VivaTech.

RÉSERVEZ MAINTENANT SUR VIVATECH.COM

10 ANS VIVATECH

Co-organisateurs

PUBLICIS GROUPE

Groupe Les Echos Le Parisien

Partenaires fondateurs

BNP PARIBAS

LA POSTE GROUPE

LVMH

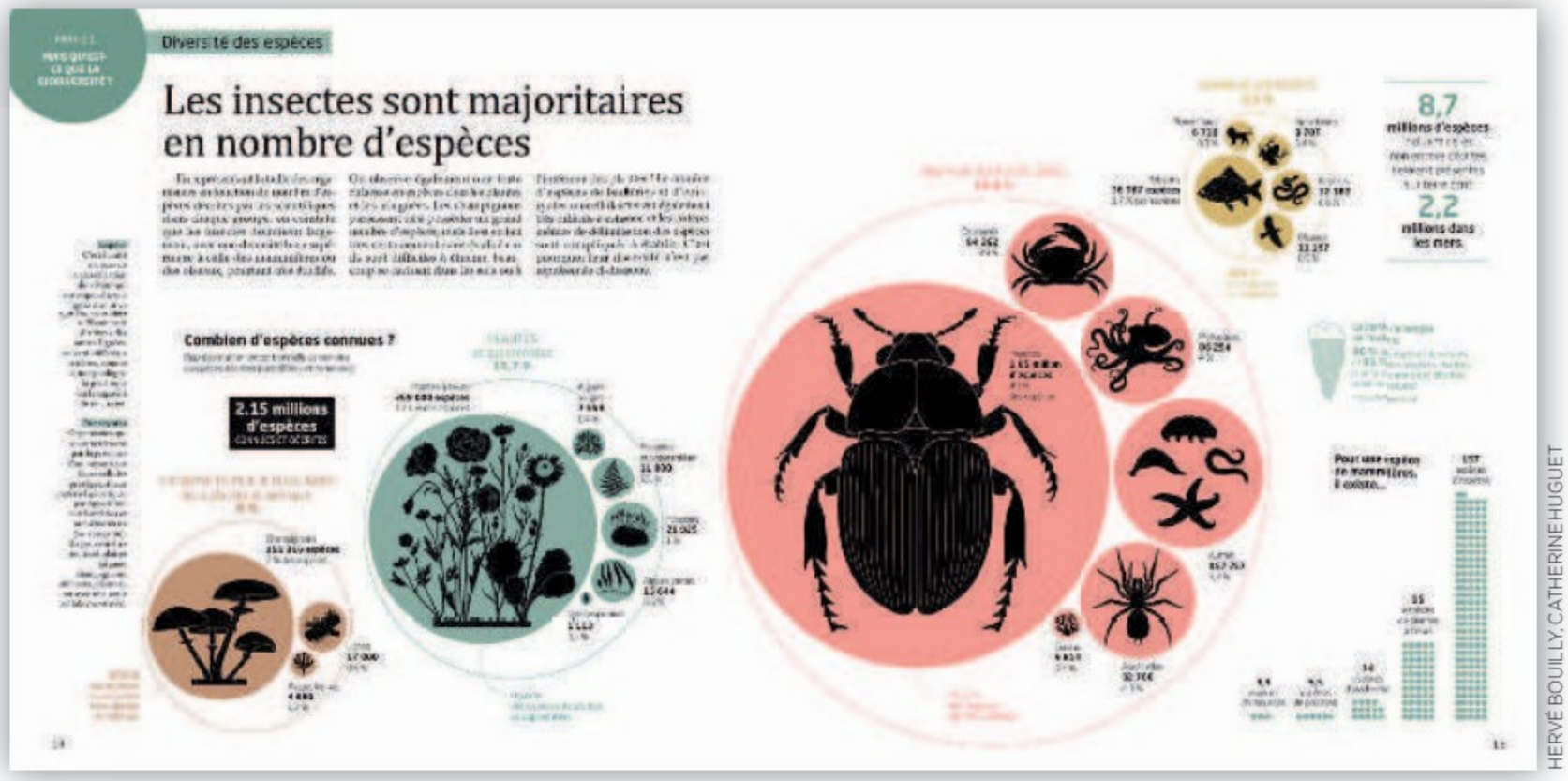
orange

aws

Depuis 2026

Partenaires médias

franceinfo: africa news. euronews. Bloomberg CGTN EUROPE CNN Explore media FT FINANCIAL TIMES rfi FRANCE 24 MCD France médias monde france•tv webedia. BFM BUSINESS



HERVÉ BOUILLY, CATHERINE HUGUET

La biodiversité à la loupe

Plus de 200 cartes, schémas et graphiques permettent à la biologiste Tatiana Giraud de détailler les menaces qui pèsent sur les milieux naturels.

INFOGRAPHIES Donner à voir ce qui est invisible, ou difficilement perceptible au quotidien : telle est l'ambition de ce livre d'infographies conçu par Tatiana Giraud. La réalité du vivant diffère de notre imaginaire : la biomasse terrestre est composée à 80 % de plantes, 70 % des espèces animales sont des invertébrés et la plus grande part de sa diversité réside dans les micro-organismes, essentiels au fonctionnement des écosystèmes. L'auteure s'applique ensuite à montrer que la biodiversité n'est pas une collection d'espèces, mais « *un emboîtement de diversités à plusieurs niveaux, un équilibre dynamique* » *qui,* à l'image de la Reine rouge que rencontre Alice dans *De l'autre côté du miroir*, entraîne les espèces en interactions — proies et prédateurs, parasites et hôtes — dans une course de coévolution permanente. « *L'important est donc de préserver les conditions de cet équilibre dynamique et de cette évolution, pas de conserver quelques espèces en particulier* », explique la biologiste. Précisément, cet équilibre est aujourd'hui menacé par les activités humaines : destruction des habitats, surexploitation des ressources, empoisonnement des milieux, dérèglement climatique et espèces invasives provoquent un effondrement de la biodiversité.

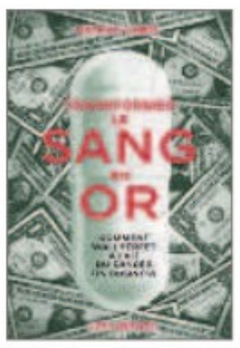
Déjà 28 % des espèces sont menacées et des estimations évoquent jusqu'à 82 % de diminution de la biomasse dans certains groupes. À cela s'ajoute une érosion de la diversité génétique, qui fragilise les plantes et induit le recours aux pesticides. Aucune technologie ne pourra recréer la complexité du vivant, fruit de millions d'années d'évolution. La seule voie viable est de repenser nos modes de production et notre rapport aux écosystèmes. ■ **Sylvie Rouat**

La Biodiversité en infographies - L'urgence du vivant : comprendre pour agir, Tatiana Giraud, Hervé Bouilly, Catherine Huguet, Tana éditions, 136 p., 24,90 €

SOMMAIRE

▶ C'est à lire p. 82
▶ C'est à voir p. 84
▶ Questions de lecteurs p. 86
▶ Courrier p. 87
▶ Le ciel du mois p. 88
▶ À retrouver sur notre site p. 90

Course au remède, guerre des milliards



ENQUÊTE Haletante plongée dans les coulisses de la biotech, le livre retrace l'irrésistible ascension d'une molécule pouvant freiner un cancer du sang. De la start-up californienne misant sur un composé expérimental aux spéculations effrénées de Wall Street, Nathan Vardi raconte une histoire vraie à la manière d'un polar. Cette enquête traduite par Pierre Kaldy, collaborateur de « Sciences et Avenir », dévoile un univers impitoyable où innovations et appétits boursiers redéfinissent les règles de la médecine. ■ **H. J.**

Transformer le sang en or, Nathan Vardi, Les Arènes, 352 p., 23,50 €

La part d'ombre de la matière noire

COSMOS Ce n'est pas un livre à la gloire du modèle cosmologique actuel, préviennent les auteurs. *« Nous porterons notre attention sur sa part d'ombre, sur ses angles morts, et sur les failles qui le craquellent. »* Comme les mystères de la matière noire et de l'énergie sombre, qui emplissent 95 % du cosmos ; l'avant-Big Bang ou ces constantes fondamentales qui pourraient varier ! Autant de problèmes qui, une fois résolus, pourraient *« rendre notre vision de l'Univers encore plus complète »*. ■ **F. D.**

L'Univers incompris, Sébastien Carassou, Jean-Philippe Uzan, Les Arènes, 412 p., 23 €

Les nombres prennent vie

INFINI Qu'est-ce qu'un gogol ? Un « 1 » suivi de 100 zéros ! Ou encore 10^{-15} seconde : c'est le temps que « gagnent » les spectateurs immobiles sur Usain Bolt lors de son record du 100 m en 2009. Filant à 12,42 m/s, le sprinteur voit en effet son temps propre légèrement ralentir, un effet direct de la relativité. C'est par ce genre d'image que le physicien Antonio Padilla donne chair aux nombres, mêlant abstraction mathématique et phénomènes tangibles. Une manière de raconter l'Univers autrement. ■ **F. N.**

Les plus beaux nombres de l'Univers, Antonio Padilla, Flammarion, 560 p., 23 €

Au chevet de la Méditerranée

MUTATION C'est un cas unique au monde : une mer *« semi-fermée avec l'une des plus hautes densités de population de la planète »*. La Méditerranée respire grâce au flux océanique s'engouffrant par le détroit de Gibraltar, et voit s'écouler un trafic maritime démesuré et l'arrivée d'espèces exotiques devenues omniprésentes — tel le crabe bleu qui sévit aux îles Kerkennah — côté canal de Suez. Cette enquête incarnée et fouillée sur une mer emblématique des fléaux généralisés — canicules, tempêtes extrêmes, érosion — suit ses rivages du sud vers le nord. Grâce aux données des chercheurs, aux innombrables témoignages de pêcheurs avouant un manque de clairvoyance, et d'écologistes lucides et motivés, l'auteur dévoile la trame d'histoires semblables. À l'abondante variété des ressources et à la beauté ont succédé la pénurie et la dégradation. Les causes ? La surpêche, la concurrence effrénée, l'industrialisation, l'agriculture intensive et ses rejets. Des actions positives surnagent, portées par les irréductibles amoureux de *Mare Nostrum*… ■ **Andreina De Bei**

Méditerranée tropicale. Enquête sur une mer en mutation, Stefano Liberti, Arthaud, 272 p., 21 €

Chasse aux papillons

RÉCIT Pour son premier roman, Jamy Gourmaud nous emmène dans une passionnante chasse aux papillons entre la forêt guyanaise et un cabinet d'entomologie parisien. Le récit, très documenté, s'inspire librement de la vie d'Eugène Le Moult, collectionneur de papillons du début du XX^e^ siècle. Au cœur de l'intrigue, un papillon gynandromorphe, rareté de la nature dont les ailes sont celles d'un mâle d'un côté, et d'une femelle de l'autre. Sa poursuite est un savoureux voyage depuis des forêts encore mal connues jusqu'au cœur du Paris des années folles. ■ **M. N.**

Les Ailes de la forêt, Jamy Gourmaud, Albin Michel, 286 p., 19,90 €

Un mal encore nécessaire

ÉTHIQUE Chaque année, environ 2 millions d'animaux sont mobilisés en France pour la recherche scientifique. Essentiels en recherche médicale — sans eux, pas d'insuline ni de vaccin contre la poliomyélite ou de trithérapies antirétrovirales —, ils contribuent aussi à la recherche spatiale, environnementale, ou sur la sécurité alimentaire. Pourrait-on s'en passer ? Explorant tous les aspects du sujet — histoire, cadre légal, méthodes alternatives (organoïdes, jumeaux numériques, etc.) —, cet essai apporte une réponse limpide : *« Aujourd'hui, si des animaux sont encore utilisés en recherche, ce n'est pas par choix mais parce que cela reste strictement nécessaire. »* L'auteur, vétérinaire et référent du bureau Éthique et modèles animaux du CNRS, étaye ce constat par des données rigoureuses et de nombreux témoignages de terrain, montrant combien le bien-être animal se situe désormais au cœur des pratiques scientifiques. Un livre bien fait, pour qui veut se faire un avis éclairé sur cette question délicate. ■ **Vincent Glavieux**

Expérimentation animale : en finir… ou pas ? Ivan Balansard, EDP Sciences, 184 p., 22 €

C'EST À VOIR

▶ **Ce symbole désigne les nouvelles expositions**

EXPOSITIONS

Cherbourg-en-Cotentin (50)

▶ **Exposition Astérix et la mer**
Exposées dans l'ancienne gare maritime transatlantique, les planches d'Astérix et Obélix invitent à redécouvrir avec humour l'univers maritime gaulois : routes de navigation, types d'embarcation, ressources halieutiques.
Cité de la Mer, allée du Président-Menut, jusqu'au 31 mai. Rens. : 02.33.20.26.69.

Elbeuf-sur-Seine (76)

Des dinosaures aux oiseaux
Des premiers dinosaures à plumes jusqu'aux oiseaux d'aujourd'hui, 150 millions d'années se sont écoulés. Un voyage dans le temps ponctué de moulages, de reconstitutions, d'œuvres d'art et de spécimens naturalisés.
La Fabrique des savoirs, 7, cours Gambetta, jusqu'au 21 mars 2027. Rens. : 02.32.96.30.40.

Les Eyzies (24)

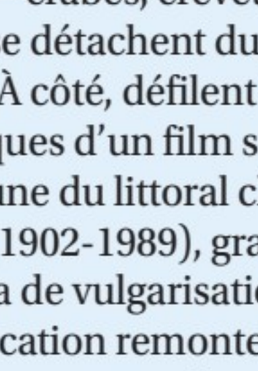
▶ **Gestes d'éternité**
Ce parcours immersif, intégrant des expériences en réalité virtuelle, nous entraîne aux origines des pratiques funéraires, à la rencontre d'*Homo sapiens* et des néandertaliens.
Musée national de Préhistoire, 1, rue du Musée, jusqu'au 8 novembre. Rens. : 05.53.06.45.45.

Lens (62)

▶ **Par-delà les Mille et Une Nuits. Histoire des orientalismes**
Comment les arts orientaux ont-ils nourri les imaginaires occidentaux ? Avec quelque 300 chefs-d'œuvre, l'exposition retrace l'histoire de ces échanges culturels et questionne cet héritage.
Louvre-Lens, 99, rue Paul-Bert, jusqu'au 20 juillet. Rens. : 03.21.18.62.62.

Lyon (69)

▶ **Au Mali, quand les animaux dansent**
Les *sogow bò,* ces spectacles ancestraux mêlant théâtre, danse et musique, sont mis à l'honneur. Masques d'animaux et marionnettes s'animent pour donner vie aux mythes et légendes du Mali.



Musée des confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 7 février 2027. Rens. : 04.28.38.12.12.

LES DOCUMENTS CINÉMATOGRAPHIQUES/ARCHIVES JEAN PAINLEVÉ

« Hippocampe dans les algues » (vers 1934), photographie de Jean Painlevé.

Pont-Aven (29) / Exposition

Jean Painlevé. Les pieds dans l'eau

Dans une salle sobrement éclairée, des clichés de petites créatures marines — crabes, crevettes, étoiles de mer… — se détachent du fond noir des cimaises. À côté, défilent les images énigmatiques d'un film sur les oursins : c'est la faune du littoral chère à Jean Painlevé (1902-1989), grand précurseur du cinéma de vulgarisation scientifique, dont la vocation remonterait à la rencontre avec une pieuvre ! Cette captivante exposition plonge le spectateur dans l'univers singulier de ce passionné de biologie, oscillant entre vision microscopique et macro, et proche de la poétique du surréalisme. Organisée en cinq sections, elle rassemble plus de 200 œuvres : des photographies, des documents d'époque qui racontent les péripéties des tournages ou témoignent de l'attachement du cinéaste à la rigueur scientifique et, surtout, des films. D'incroyables créations à la frontière entre art et science, tel le célèbre *Hippocampe* où l'on admire un mâle, silhouette ondoyante et symbolique saisie lors de son accouchement : envoûtant ! ■ **Andreina De Bei**

Musée de Pont-Aven, place Julia, jusqu'au 31 mai. Rens. : 02.98.06.14.43.

Nîmes (30)

▶ **L'art romain du Louvre**
En collaboration avec le musée du Louvre, le musée de la Romanité invite à redécouvrir les fonctions concrètes et sociales des objets d'art, à travers une sélection exceptionnelle d'œuvres romaines.
Musée de la Romanité, 16, boulevard des Arènes, jusqu'au 10 janvier 2027. Rens. : 04.48.21.02.10.

Paris (75)

▶ **Byblos, cité millénaire du Liban**
L'exposition plonge au cœur de la cité portuaire antique, à travers des trésors archéologiques et une scénographie spectaculaire. Avec, en exclusivité, les dernières découvertes des fouilles de Byblos.
Institut du monde arabe, 1, rue des Fossés-Saint-Bernard, jusqu'au 23 août. Rens. : 01.40.51.38.38.

▶ **Cartes imaginaires. Inventer des mondes**
Le visiteur est convié aux frontières du réel et de la fiction au moyen de la cartographie. Territoires mythiques, littéraires ou fantastiques l'emportent à la croisée des époques.
BNF François-Mitterrand, quai François-Mauriac, jusqu'au 19 juillet. Rens. : 01.53.79.53.79.

▶ **Frontière**
Omniprésente dans l'actualité, la notion de frontière structure les grands équilibres géographiques. Corées du Nord et du Sud, cyberespace, zones maritimes, autant de territoires qui en révèlent toute la complexité.
Cité des sciences et de l'industrie, 30, avenue Corentin-Cariou, jusqu'au 2 janvier 2028. Rens. : 01.85.53.99.74.

▶ **Lafayette entre France et Amérique. Histoire et légende**
Héros adulé aux États-Unis, figure controversée en France, Gilbert du Motier, marquis de La Fayette, fait l'objet d'une rétrospective qui met en lumière cette figure politique hors du commun.
Musée des Archives nationales, 60, rue des Francs-Bourgeois, jusqu'au 14 juillet. Rens. : 01.40.27.60.96.

▶ **Licornes !**
Créature mythique traversant les siècles et les continents, la licorne revêt un caractère mystérieux et ambivalent, tour à tour agressive, guérisseuse ou symbole de pureté, l'exposition explore ses multiples figures.
Musée de Cluny, 28, rue du Sommerard, jusqu'au 12 juillet. Rens. : 01.53.73.78.00.

Paris (75) / Exposition

Explorations : une affaire d'État ?

SCIENCES ET AVENIR PARTENARIAT

Le capitaine Roulet et son matériel de cartographie, Soudan, 1899 (reconstitution). ◀

MUSÉE DE L'ARMÉE - GRANDPALAISRMN / É. CAMBIER

Assurément, il fallait être intrépide pour entreprendre des expéditions comme celles qui ont marqué le XVIIIe siècle. Mais derrière cet élan de curiosité, les motivations commerciales et expansionnistes ne peuvent être oubliées. Des missions maritimes françaises jusqu'à la conquête spatiale, l'exposition, présentée par le musée de l'Armée, retrace les échecs, les succès et les ambitions de ces entreprises lointaines. L'exploration revêt de multiples visages — commission scientifique, voyage, mission, traversée — et incarne à chaque époque des enjeux de pouvoir : découvertes scientifiques, rivalités géopolitiques, captation de ressources. Un voyage à travers l'espace et le temps. ■ **T. B.**
Musée de l'Armée, 129, rue de Grenelle, jusqu'au 16 août. Rens. : 01.44.42.38.77.

Rennes (35)

▶ **Impact, la biodiversité en questions**
Interroger notre relation au vivant et réinventer une société moins dangereuse pour notre écosystème, tels sont les défis proposés à l'occasion de cette exposition sur la biodiversité.
Espace des Sciences, 10, cours des Alliés, jusqu'au 30 août. Rens. : 02.23.40.66.00.

Troyes (10)

▶ **Passavant le meilleur ! La Champagne au temps des comtes**
Dispersés dans le monde, les vitraux de la cathédrale romane de Troyes sont réunis pour la première fois, le temps d'une exposition célébrant l'âge d'or médiéval de la Champagne.
Cité du Vitrail, Hôtel-Dieu-le-Comte, jusqu'au 31 octobre. Rens. : 03.25.42.52.87.

Scannez ce QR code pour retrouver toutes les expositions

Une formidable diversité
11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

N° 943
Dossier spécial
Alzheimer

N° 944 Seuls ?
À la recherche de
la vie ailleurs

N° 945 La science
peut-elle sauver
le climat ?

N° 946 Les
géniales "erreurs"
d'Einstein

N° 947
Spécial
Aux origines

N° 948 La nouvelle
conquête
de la Lune

N° 949 IA : comment
elle révolutionne
la santé

N° 950
Terres rares,
le nouvel or noir

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir - service des abonnements
45, av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 943 ❑ N° 944 ❑ N° 945 ❑ N° 946
❑ N° 947 ❑ N° 948 ❑ N° 949 ❑ N° 950

Nom : ..... Ville : .....
Adresse : .....
.....
Code postal : .....

Posez vos questions sur la page **Facebook** de **Sciences et Avenir**

CORENTIN FOHLEN/DIVERGENCE

En Asie, les produits laitiers sont consommés sous forme fermentée (yaourts, fromages), les bactéries facilitant la digestion du lactose.

NUTRITION

Avons-nous vraiment besoin de boire du lait ?

Andromeda A.

Boire du lait à l'âge adulte semble aller de soi. Pourtant, la biologie et l'histoire humaine racontent une tout autre réalité. Chez les mammifères, humains compris à l'origine, la digestion du lactose (le sucre du lait) disparaît après le sevrage, faute de lactase, l'enzyme nécessaire. À l'échelle de l'évolution, consommer du lait adulte est donc une exception. Cette capacité persiste de nos jours chez certaines populations, notamment en Europe du Nord et de l'Ouest, où 70 à 90 % des adultes produisent encore de la lactase. Mais cette particularité est récente : elle remonte à environ 6000 ans, au néolithique, avec l'arrivée d'éleveurs venus des steppes eurasiennes. Une mutation génétique s'est alors répandue rapidement, illustrant un cas emblématique de sélection naturelle.

Longtemps, on a pensé que cette adaptation s'expliquait par les bénéfices nutritionnels du lait : apport en calcium, en énergie ou en eau. Mais des travaux publiés dans la revue *Nature*, en 2022, ont profondément révisé ce scénario. En croisant l'ADN de plus de 1700 squelettes néolithiques avec l'analyse de 7000 fragments de poteries révélant la consommation de produits laitiers, une équipe de chercheurs britanniques montre que la diffusion du gène de la lactase n'est pas directement liée à la consommation de lait. Le facteur déterminant serait plutôt… les crises. En effet, lors des famines ou des épidémies, des populations affaiblies consommaient du lait, faute d'alternative. Chez les individus intolérants, cela pouvait provoquer des diarrhées sévères, aggravant les risques de déshydratation et de mortalité. À l'inverse, ceux capables de digérer le lactose disposaient d'une ressource calorique et hydrique précieuse. Les modèles indiquent que ces épisodes extrêmes expliquent bien mieux la diffusion du gène que la simple habitude alimentaire.

Ainsi, le lait n'est pas indispensable à la santé humaine. Aujourd'hui encore, environ deux tiers de l'humanité ne produisent plus de lactase à l'âge adulte, sans que cela n'entraîne de carences particulières chez eux. Dans de nombreuses régions, notamment en Asie, les produits laitiers sont consommés sous forme fermentée (yaourts, fromages), car les bactéries lactiques facilitent la digestion du lactose. Il s'agit là d'une adaptation culturelle plutôt que génétique. ■

Camille Gaubert

NEUROLOGIE

Mémoire : le stress aide-t-il à mieux retenir ?

Maître K.

Non, le stress n'est pas un allié de la mémoire, surtout celle à long terme. Une étude menée en 2023 à l'université Duke (États-Unis) montre qu'en situation d'urgence, notre cerveau privilégie l'action immédiate, pas le souvenir. Dans un jeu immersif, des volontaires soumis à la pression retenaient surtout des éléments utiles à court terme, comme des indices stratégiques. À l'inverse, ceux évoluant sans stress mémorisaient bien mieux les détails. En cause : deux circuits cérébraux distincts. Le stress active la noradrénaline et l'amygdale, favorisant la réaction rapide, quand la curiosité mobilise la dopamine et l'hippocampe, essentiels à une mémoire durable. ■ **Marie Parra**

BIOLOGIE

L'ours blanc et l'ours brun peuvent-ils se reproduire ensemble ?

Gael R.

Oui, l'ours polaire et le grizzli peuvent se reproduire, mais le résultat reste limité. Leur croisement donne naissance à un hybride appelé « grolar » ou « pizzly ». Des cas ont été observés dans la nature, notamment parce que le réchauffement climatique rapproche leurs territoires, favorisant ainsi les rencontres. Ce phénomène n'est pas neuf : des analyses génétiques suggèrent qu'il existait déjà lors des glaciations. Mais ces grolars ne forment pas une nouvelle espèce ; et leur fertilité reste, à long terme, incertaine. ■ **Olivier Lascar**

Courriels à : courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

« Guidage magnétique : le dernier mystère du peuple migrateur »
(*Sciences et Avenir* n° 949, mars 2026)

Les animaux migrateurs, qui utilisent les champs magnétiques pour se diriger, seront-ils perturbés lorsque se produira une inversion des pôles magnétiques ? **Claude Ducornetz**

S. et A. : Votre question est intéressante parce que l'inversion des pôles est un phénomène possible ! Néanmoins, si on observe bien une excursion des pôles depuis plusieurs années, ce déplacement n'augure pas forcément une inversion. On ignore quand aura lieu ce prochain bouleversement magnétique et si des oiseaux migrateurs seront encore en train de sillonner le globe à ce moment-là. Mais adoptons cette hypothèse. On peut imaginer que cela dépendra du mécanisme sur lequel repose le sens magnétique des animaux. Les chercheurs pensent que certaines structures biologiques perçoivent l'inclinaison du champ magnétique quand d'autres enregistrent sa direction, comme une boussole. Le deuxième mécanisme serait donc davantage impacté que le premier en cas d'inversion du champ magnétique. Mais les oiseaux seraient-ils pour autant complètement désorientés ? Ce serait oublier qu'ils utilisent plus d'un sens pour leur navigation : les oiseaux migrateurs regardent aussi la position des étoiles et du Soleil, et compilent les informations pour trouver leur chemin quelle que soit la météo.

« T. rex » à plumes

Concernant l'article « De l'utilité des ailes avant l'invention du vol » (*S. et A.* n° 947, janvier 2026), n'est-il pas prouvé que le *T. rex* n'avait pas de plumes ? **Franck Bore**

S. et A. : Le débat ne semble pas tranché concernant les plumes des *T. rex*. Les jeunes, notamment, pouvaient peut-être porter des plumes (pour des raisons d'isolation thermique). Pour les adultes, rien n'est moins sûr.

Feux follets

Fidèle lecteur depuis plus de 60 ans je suis sensible à la qualité de vos articles. Dans le sujet « Les feux follets traqués par la science » (*S. et A.* n° 949, mars 2026) : il me semblait que l'explication était connue depuis bien longtemps : la décomposition des corps ne produit pas seulement du méthane mais aussi des hydrures de phosphore PH_3 et P_2H_4, ce dernier, étant pyrophorique, provoque l'inflammation du méthane. **Daniel Beldame**

S. et A. : Cher lecteur, l'implication des phosphines dans le déclenchement des feux follets relève d'une hypothèse, demeurée sujette à caution et jamais vraiment prouvée expérimentalement pour ce phénomène. De plus, l'étude citée dans notre article n'avait pas forcément comme objectif de caractériser précisément les agents chimiques impliqués. Elle tentait plutôt de démontrer qu'il était possible de recréer des feux follets en laboratoire dans un milieu aqueux — ce qui n'avait jamais été réalisé. Pour ce qui est des acteurs impliqués, cela fera sans doute l'objet de futures études.

Précision

Dans l'article « Une vie possible dans l'ombre radioactive d'Europe » (*S. et A.* n° 949), nous avons écrit par erreur qu'Europe était la plus grosse lune de Jupiter, alors qu'il s'agit de Ganymède.

LE CIEL DE MAI

PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

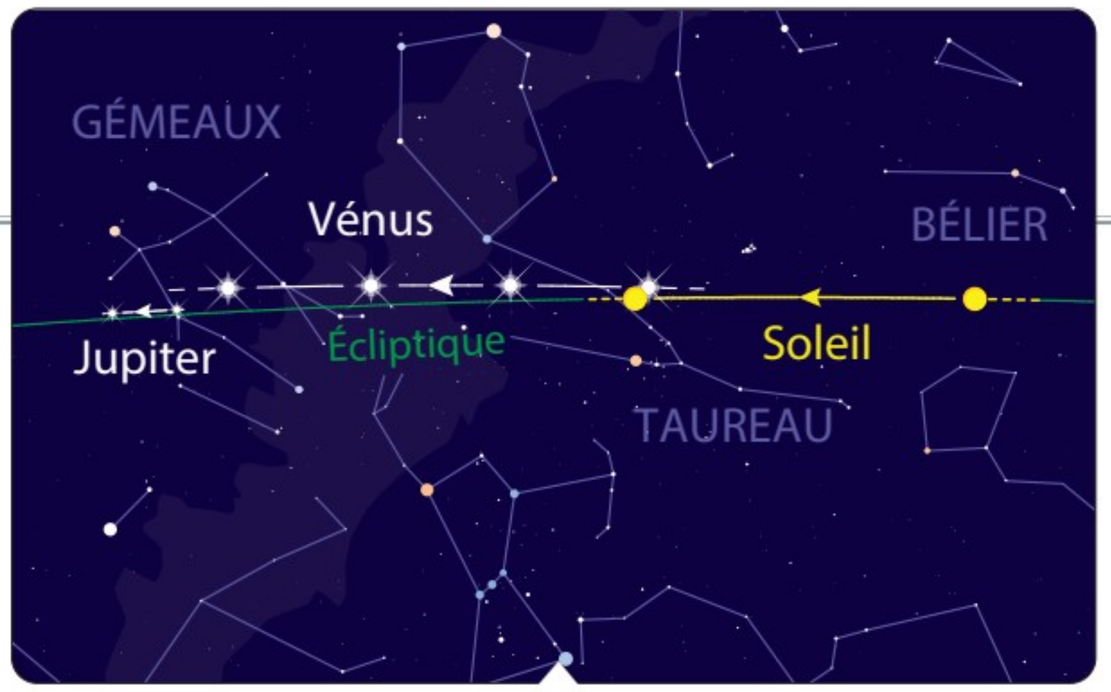
MERCURE
La petite planète passe en conjonction supérieure le 14. Elle ne devient observable qu'en toute fin de mois le soir, très basse vers le couchant.

VÉNUS
L'étoile du Berger brille intensément vers l'ouest-nord-ouest en soirée et domine largement le ciel crépusculaire. Elle quitte la constellation du Taureau pour celle des Gémeaux le 19. Vénus se dirige rapidement vers Jupiter, qu'elle croisera au début du mois prochain, offrant alors un rapprochement remarquable.

MARS
Encore trop peu brillante et noyée dans les lueurs du levant, la planète Rouge n'est pas visible.

JUPITER
Ce mois marque la fin d'une très belle période d'observation de la planète géante. Certes, en début de mois, elle se trouve encore à bonne hauteur vers l'ouest lorsque la nuit tombe. Mais les jours passant, sa hauteur décline et elle n'est plus observable qu'en soirée.

SATURNE
La planète aux anneaux pâtit d'un écliptique encore peu relevé sur l'horizon le matin. Moyennement brillante, elle n'est que marginalement accessible, bas vers l'est en fin de nuit, durant les derniers jours de mai.



Progression du Soleil et des planètes Vénus et Jupiter devant les constellations du zodiaque entre le 1er et le 31. L'écliptique est la trajectoire apparente du Soleil au cours de l'année, conséquence du mouvement de la Terre autour de lui.

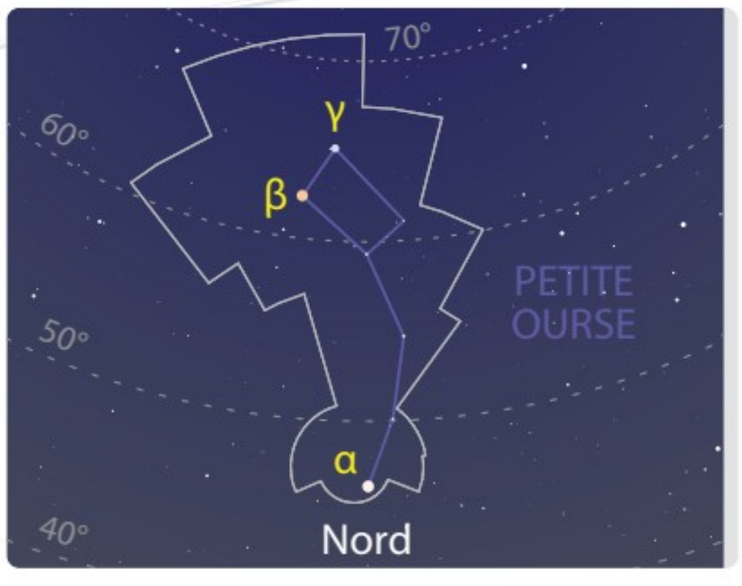
Des planètes en ordre de marche

AU FIL DES SEMAINES, Vénus et Jupiter glissent à travers le zodiaque en restant proches de l'écliptique. Ces mouvements apparents résultent de la combinaison de leur révolution autour du Soleil et de celle de la Terre.

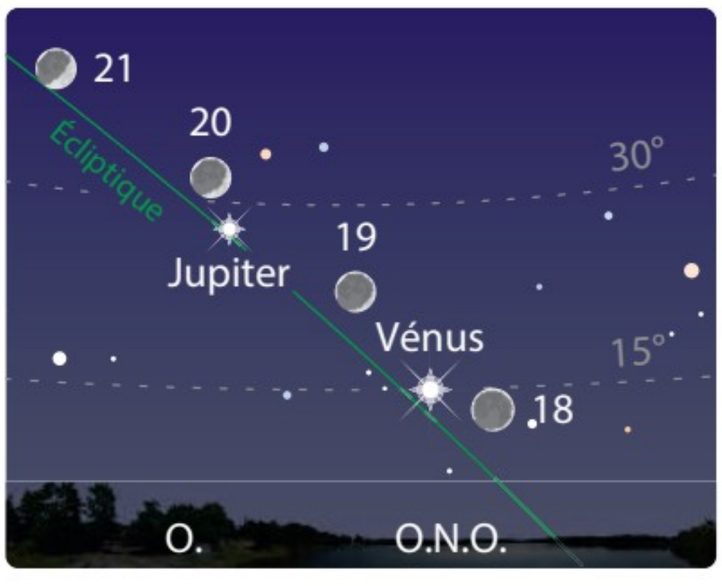
Notre conseil Vénus et Jupiter sont actuellement facilement observables en soirée car situées un peu à l'est (à « gauche ») du Soleil. Observez-les, par exemple, 1 h après son coucher pendant plusieurs jours : Vénus semblera presque immobile (elle progresse vers l'est à un rythme proche de celui de l'astre du jour ce mois) tandis que Jupiter s'abaissera vers l'horizon, progressivement rattrapée par le Soleil.

L'appli du mois

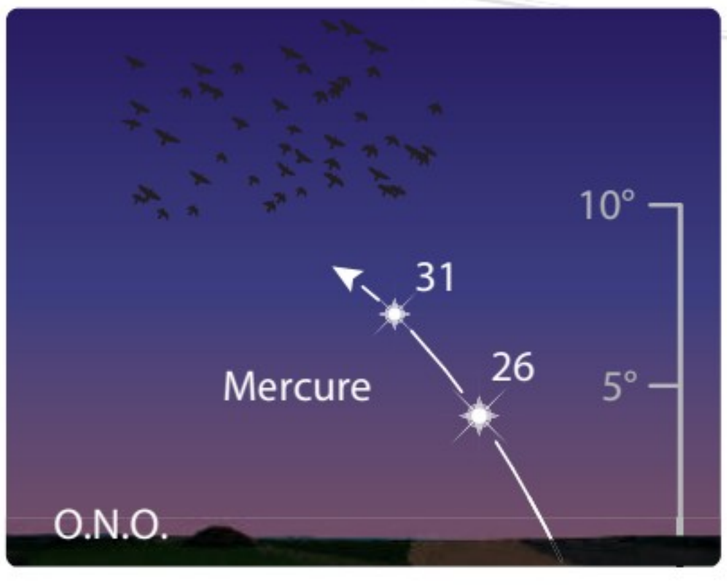
CLEAR OUTSIDE
est une application gratuite en anglais, disponible sur Android et iOS. Elle propose des prévisions météorologiques détaillées pour l'observation du ciel. Elle indique heure, par heure la couverture nuageuse à différentes altitudes, la visibilité et l'obscurité du ciel. Son interface claire en fait un outil pratique pour planifier ses observations.



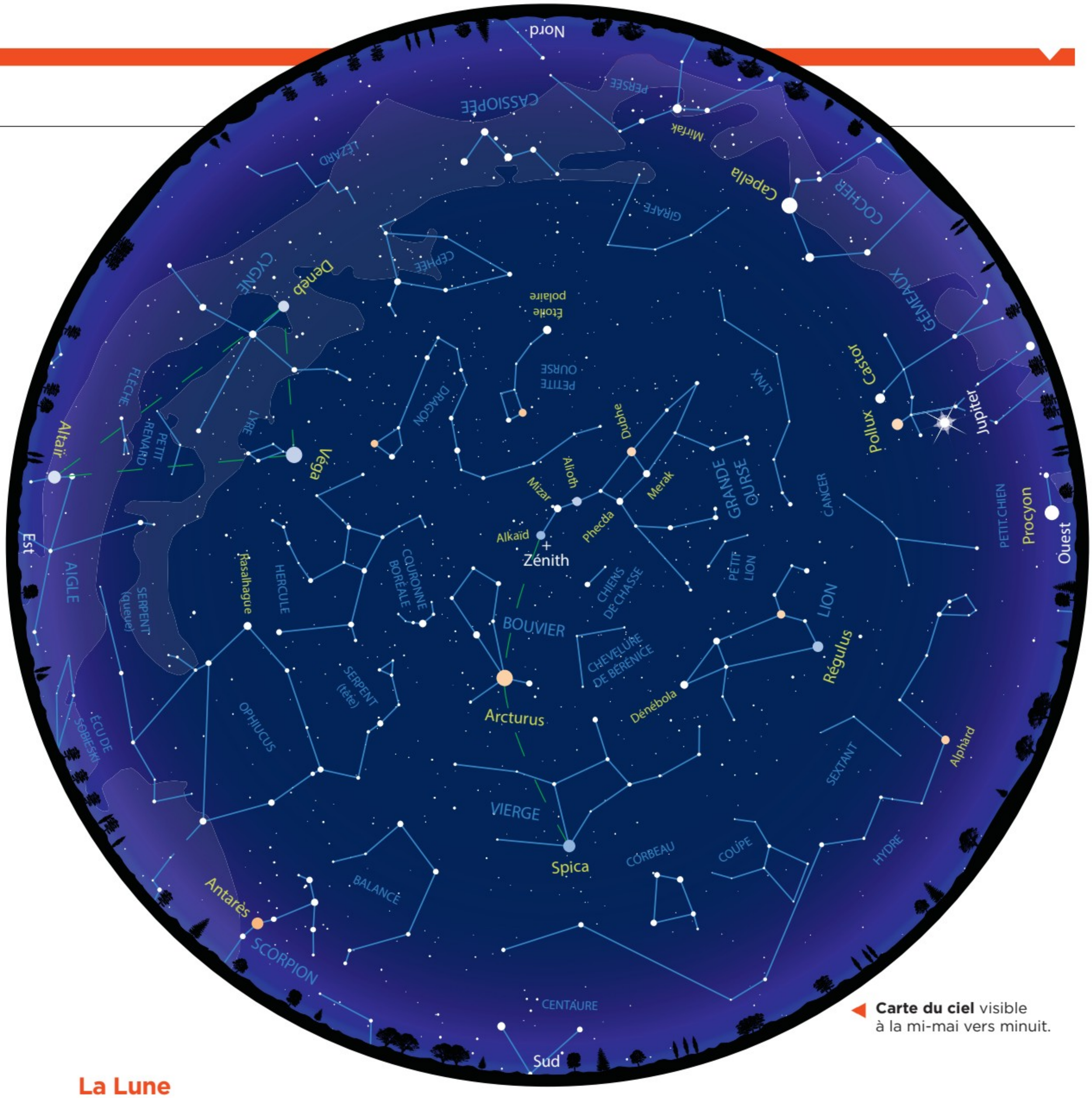
AU CŒUR DE LA NUIT, LA PETITE OURSE EST AU PLUS HAUT. Son étoile principale, située dans l'axe de rotation de la Terre, indique le nord : c'est l'étoile Polaire (α).



LE SOIR DU 19, 1 H APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, le croissant de Lune, nimbé de lumière cendrée, se trouvera à mi-chemin entre les brillantes planètes Vénus et Jupiter.



EN FIN DE MOIS, 45 MINUTES APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, tentez de déceler Mercure au ras d'un horizon nord-ouest bien dégagé, encore baigné dans les lueurs du crépuscule.



Carte du ciel visible à la mi-mai vers minuit.

La Lune

Pleine Lune : vendredi 1er à 19 h (la Lune se trouve alors dans la constellation de la Balance)
Pleine Lune : dimanche 31 à 11 h (Scorpion)

Dernier quartier : samedi 9 à 23 h (Capricorne)

Nouvelle Lune : samedi 16 à 22 h (Bélier)

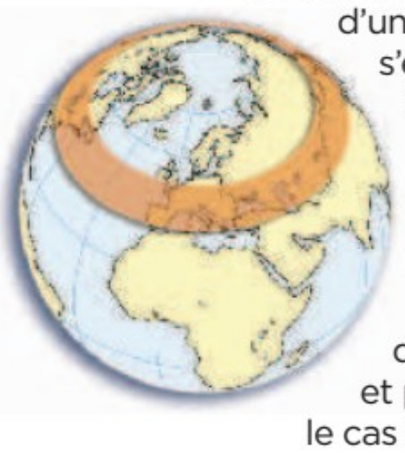
Premier quartier : samedi 23 à 13 h (Lion)

Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er mai	**6 h 32**	**21 h 04**
31 mai	**5 h 54**	**21 h 43**

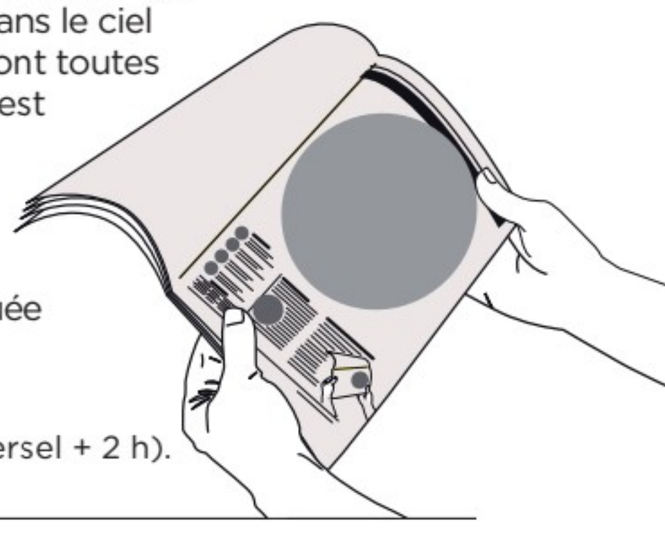
D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel, et plus basse dans le cas contraire.



Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 2 h).

Suivez-nous au quotidien sur le Web

www.sciencesetavenir.fr

NASA

ARCHÉOLOGIE

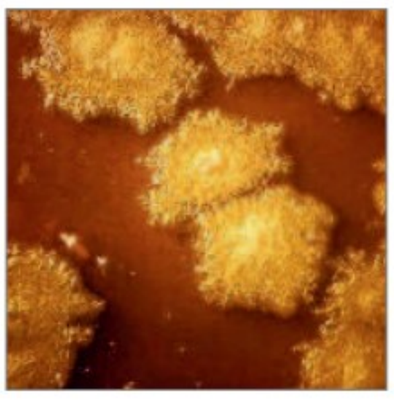
Les mystères du « Stonehenge du Levant »

Y.SHMIDOV, A.WIEGMANN

Le site mégalithique de Rujm el-Hiri sur le plateau du Golan (Israël) est l'un des plus énigmatiques du Proche-Orient. La découverte par satellite d'une trentaine d'autres structures tout autour vient de lever une partie du mystère.
sciav.fr/951megalith

SANTÉ

Cette bactérie dévore les cancers



PHIL

La bactérie *Clostridium sporogenes* peut détruire une tumeur de l'intérieur... en la mangeant. Une propriété qui intéresse la recherche dans la lutte contre le cancer. Les explications de *Sciences et Avenir* en vidéo. sciav.fr/951cancer

Le top 5 du mois

- **Deux peintures rupestres datées pour la première fois en Dordogne.** sciav.fr/951dordogne
- **Vers de terre et champignons fertilisent le sol lunaire.** sciav.fr/951fertile
- **Bataille épique dans les mers du crétacé.** sciav.fr/951cretace
- **Un ancêtre géant du *T. rex* au Nouveau-Mexique (États-Unis).** sciav.fr/951trex
- **10 choses à retenir de la plus grande étude sur le vieillissement.** sciav.fr/951vieillir

DÉCRYPTAGE

Aux origines de la particule la plus énergétique jamais observée

Détecté en 2023 par le télescope sous-marin KM3NeT, un neutrino d'une énergie record continue de défier les astrophysiciens. Une nouvelle étude théorique suggère que cette particule d'exception pourrait provenir de l'explosion finale d'un trou noir primordial, un vestige hypothétique des premiers instants de l'Univers. Explications en vidéo.
sciav.fr/951neutrino

LES SUJETS QUI VOUS FONT RÉAGIR

SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX

AFP

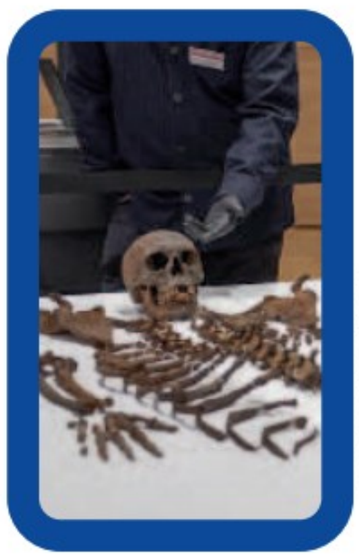
LinkedIn

Une équipe franco-péruvienne fait pour la première fois un lien, à l'échelle d'un pays, entre l'exposition aux pesticides et des perturbations biologiques suggérant un risque accru de cancer.
sciav.fr/951perou

AFP

Instagram

Victimes d'un épisode hivernal exceptionnel, des milliers de macareux ont été retrouvés morts ou très affaiblis. Mais les survivants commencent à regagner le large, signe d'un retour à la normale.
sciav.fr/951macareux



LANDESMUSEUM FÜR VORGESCHICHTE DES LANDES SACHSEN-ANHALT

Facebook

Des travaux de restauration sur le tombeau d'Otton le Grand, premier empereur du Saint Empire romain germanique, ont confirmé que c'est bien son corps qui repose là depuis plus de mille ans.
sciav.fr/951otton

Réservé aux abonnés

SCIENCES ET AVENIR

Profitez des avantages numériques compris dans votre abonnement !

Chère abonnée, cher abonné,

Chaque semaine, la Rédaction de Sciences et Avenir crée et met en ligne sur www.sciencesetavenir.fr 15 articles exclusifs réservés aux abonnés que vous ne trouverez pas dans le magazine. Pour y accéder et profiter pleinement de tous vos services numériques, **vous devez activer votre compte abonné.**

Vous aurez ainsi également accès sur le site www.sciencesetavenir.fr à :

- **La bibliothèque numérique** avec les magazines compris dans votre abonnement,
- **Une douzaine de vidéos** (reportages, entretiens, démonstrations par les labos de recherche…) par mois,
- **La lecture audio** des articles du site,
- L'accès aux magazines sur votre smartphone ou tablette via **l'application « Sciences et avenir le magazine »**,
- L'accès au contenu du site sciencesetavenir.fr avec l'application « **Sciences et avenir** »,
- Une navigation zen allégée en publicité.

Comment accéder à tous ces services ? En créant votre compte sur www.sciencesetavenir.fr :

1. Notez votre numéro d'abonné indiqué sur le « film » d'emballage de votre magazine (ex SCA **0/123456**). Si vous ne l'avez pas, contactez le service client au **01 55 56 71 48** ou envoyez un mail à abonnements@sciencesetavenir.com
2. Rendez-vous sur www.sciencesetavenir.fr et cliquez sur « Se connecter »
3. Cliquez sur « créer un compte » et remplissez le formulaire avec les informations demandées.

Pour télécharger les applications Sciences et Avenir et Sciences et Avenir Le magazine

Si vous avez un smartphone ou une tablette Apple, rendez-vous sur l'App Store de votre appareil
Pour les autres smartphones et tablettes, rendez-vous sur le Google Play de votre appareil

Alors n'hésitez plus, rendez-vous dès à présent sur www.sciencesetavenir.fr

SCAACTIVATION25

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE. WWW.MANGERBOUGER.FR